

VŠB – Technická universita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroniky

Vyhodnocení otáček spalovacího motoru
Combustion Engine Speed (RPM) Evaluation

2009/2010

Jaroslav Gabriš



Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě dne 7.5. 2010

.....

Podpis



Poděkování

Úvodem své diplomové práce bych chtěl poděkovat všem, kteří mi poskytli podmínky pro její zpracování, zejména vedoucímu panu Ing. Petru Šimoníkovi, Ph.D. za odborné konzultace při tvorbě této práce a v neposlední řadě děkuji svým rodičům a přítelkyni za jejich podporu při studiu.



Souhrn

Tato diplomová práce popisuje jakým způsobem lze vyhodnocovat otáčky u spalovacího motoru. V první kapitole je popsáno rozdělení snímačů a ve druhé jejich parametry.

V následujících kapitolách jsou podrobněji popsány jednotlivé typy snímačů a v poslední části práce je samotná realizace modelů pro vyhodnocování otáček. Cílem bylo vytvoření modelu pro vyhodnocování otáček s možností jeho zpětného zpracování. Zpřístupněním technického popisu tohoto modelu se otevírá příležitost jeho využití v praxi nebo úlohách typově příbuzného charakteru.

Klíčová slova

Snímač, otáčkoměr, magnetizace, indukčnost

Abstrakt

This graduation theses describes how to evaluate the speed of an internal combustion engine. The first chapter describes the distribution of sensors and second chapter their parameters. The following chapters describe in detail the various types of sensors and the last part is the actual implementation of models for evaluation of speed. Main aim be created model for evaluation speed and the possibility of his backward processing. Equalization of the technical documentation of this model is opening the opportunity to its usefulness in practices or in tasks of the near type character.

Keyword

Sensor, tachometer, magnetization, inductance



Seznam použitých symbolů a zkratek

A/Č	analogově – číslicový převodník
AK	akční člen
AMR	anizotropní rezistor
ASIC	Application Specific Integrated Circuits
CCITT	Comité Consultatif International Télégraphique
E	elektrická veličina
EIA	Electronic Industries Association
EO	elektronické obvody
GMR	gigantický magnetorezistivní jev
HÚ	horní úvrat'
IN	indikace
MKO	monostabilní klopný obvod
M	mikropočítač
MX	multiplexer
P	nadřazený výpočetní systém (počítač)
R	rozhraní
ŘJ	řídící jednotka
S	snímač
SP	spínač
U	blok unifikace signálu
Y_i	rušivé veličiny
a	počet párů paralelních vinutí
B	magnetická indukce, sycení
b	šířka pružiny



D	průměr kotvy
d	tloušťka polovodiče
dt	délka časového intervalu
$d\varphi$	úhel pootočení tělesa okolo osy vykonaný za časový interval
$d\Phi / dt$	změna magnetického toku
E	elektromotorické napětí, modul pružnosti materiálu
H	tloušťka hliníkového kotouče
h	tloušťka pružiny
I_p	proud polovodičem
k	citlivost
K_H	Hallova konstanta
l	aktivní délka vodiče kotvy, délka pružiny
N	celkový počet otáček vykonaný za časový interval, počet závitů kotvy
n	frekvence otáčení
n_q	hustota nosičů náboje
p	počet pólových dvojic
q	elementární náboj
R_M	vnitřní odpor
t	délka časového intervalu
t_{nab}	čas nabíjení
t_{vyb}	čas vybíjení
U	výstupní napěťový signál
v	rychlost otáčení



x	vstupní veličina
y_N	naměřená hodnota
y_S	skutečná hodnota
ω	úhlová rychlost
τ_1	časová konstanta
Δ_D	dynamická chyba
Δy	absolutní chyba
δ_a	adaptivní chyba
δ_L	chyba linearity
δ_S	relativní chyba snímače
δ_y	relativní chyba
Φ	magnetický tok



Obsah

Úvod	10
1. Analýza problematiky snímačů	11
1.1. Základy snímače	11
1.2. Rozdělení snímačů	13
1.3. Technologie výroby snímačů	14
1.4. Měřicí řetězec	15
1.5. Inteligentní snímače	17
2. Technické parametry snímačů	19
2.1. Statické parametry snímačů	19
2.2. Dynamické parametry snímačů	23
3. Měření otáček a frekvence otáčení	25
3.1. Spojité indukční otáčkoměry	26
3.1.1. Elektrodynamické otáčkoměry	26
3.1.2. Magnetické otáčkoměry	30
3.2. Impulsní snímače otáček	32
3.2.1. Magnetické impulsní snímače otáček	32
3.2.2. Fotoelektrické impulsní snímače otáček	46
3.3. Stroboskopické otáčkoměry	47
3.4. Speciální otáčkoměry	49
4. Zpracování signálů snímačů	51
Závěr	52
Použitá literatura	58
Seznam příloh	60



Úvod

V dnešní době jsou moderní vozidla opatřena velkým množstvím snímačů. Snímače znázorňují jako by „smyslové orgány“, které převádí proměnné vstupní veličiny na elektrické signály, které jsou nezbytné pro řídicí a regulační funkce, prováděné řídicími jednotkami motoru. Vstupní signály mohou být analogové, digitální nebo pulsní (např. snímač otáček). Zpracování těchto signálů se provádí po odpovídající úpravě (filtrování, zesílení atd.) a převodu (analogově – digitální) především metodami digitálního zpracování signálů.

Účelem této práce je seznámit, jakým způsobem lze provést vyhodnocování otáček spalovacího motoru, a také jaké máme snímače otáček neboli otáčkoměry a s jejich technickými vlastnostmi a možnostmi použití. Podle funkce si můžeme rozdělit snímače do dvou základních skupin.

1. Pasivní

2. Aktivní

Typickým rysem první skupiny snímačů je, že vlastní snímač patří do součástí obvodu, přičemž jeho charakteristický parametr (odpor, indukčnost, kapacita atd.) se působením neelektrické veličiny mění. U pasivních snímačů je na rozdíl od aktivních snímačů nezbytné napájení. Druhá skupina snímačů je charakterizována tím, že působením měřené veličiny vzniká ve snímači napětí nebo proud, které jsou úměrné měřené veličině. Snímač se tedy chová jako zdroj elektrické energie. Elektrické parametry snímačů jsou obvykle závislé na několika neelektrických veličinách. Při měření jedné neelektrické veličiny je podstatné, aby ostatní vlivy byly eliminovány. Je to možné provést zajištěním jejich konstantní hodnoty, nebo kompenzací vlivu uvažované neelektrické veličiny. Jestliže není možné provést žádné z těchto opatření je třeba postřehnout vliv parazitní veličiny cejchováním snímače nebo celého měřicího přístroje.

Většina snímačů vyžaduje použít ke konstrukci vysoce kvalitních materiálů s přesně určenými fyzikálními konstantami a většinou ušlechtilé kovy. Polovodičů se začíná používat teprve v poslední době. Je to dáno tím, že se podařilo realizovat technologické postupy, které zajišťují definovaný obsah nečistot s vysokou přesností a tím i požadované vlastnosti polovodičů. Mnoho let byly vyvíjeny a zdokonalovány s ohledem na použití v automobilové technice, což také ovlivnilo jejich provozní vlastnosti, cenu, rozměry apod.

Výběr snímače nám zásadně stanovuje pojetí celého systému a významně předurčuje úspěch řešení úkolu. Rozmanitost požadavků vědy a praxe vyžaduje vývoj a konstrukci nových typů snímačů a odsouvá do pozadí starší generační řady.

1. Analýza problematiky snímačů

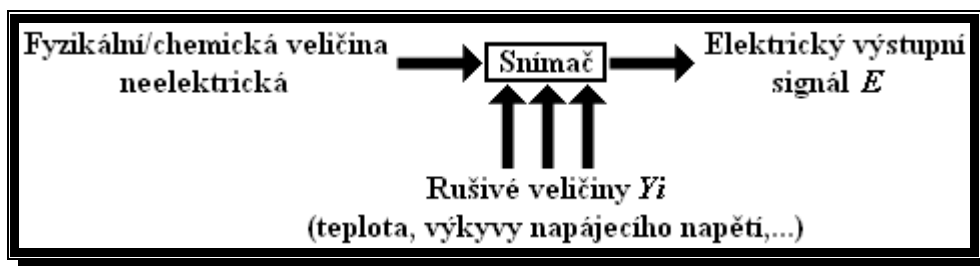
V této kapitole popíši základy snímače, rozdělení snímačů a jejich vlastnosti, které jsou velmi důležité. Také zde zmíním technologii výroby snímačů a měřicí řetězec, který je také podstatou této práce.

1.1. Základy snímače

Snímač je funkční prvek tvořící vstupní blok měřicího řetězce, který je v přímém styku s měřeným prostředím. Pojem snímač je ekvivalentní pojmu senzor, převodník nebo detektor. Citlivá část snímače se občas označuje jako čidlo. [1]

Snímače převádí fyzikální nebo chemickou (většinou neelektrickou) veličinu Φ při zohlednění rušivých veličin Y_i na elektrickou veličinu E . Často se to provádí prostřednictvím dalších neelektrických mezistupňů. Za elektrické veličiny jsou zde považovány nejen proud a napětí, ale také amplituda proudu a napětí, frekvence, perioda, fáze nebo délka impulsu elektrického kmitu, jakož i elektrické charakteristické veličiny „odpor“, „kapacita“ a „indukčnost“ (obrázky 1 a 2). [4]

Dále existují snímače, u nichž je neelektrická veličina přímo transformována na číslicový signál. [1]



Obr.1. Základní funkce snímače

Snímač lze charakterizovat pomocí následujících rovnic:

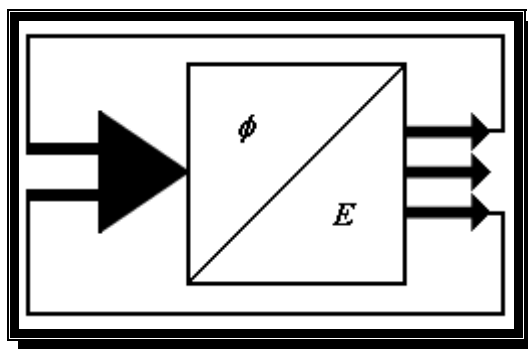
- Vstupní signál senzoru

$$E = f(\Phi, Y_1, Y_2, \dots) \quad (1)$$

- Požadovaná měřená veličina

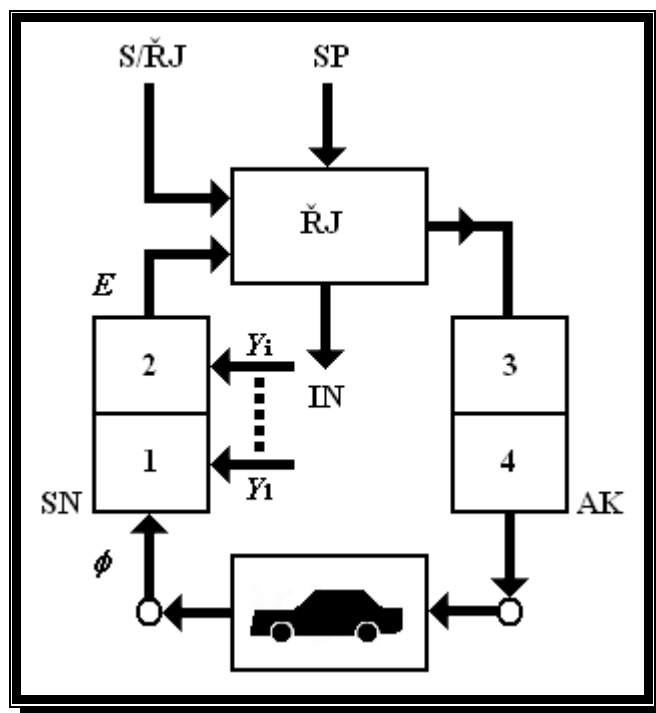
$$\Phi = g(E, Y_1, Y_2, \dots) \quad (2)$$

Jsou-li známy funkce f nebo g , pak představují „model snímače“, pomocí kterého je možné požadovanou měřenou veličinu z výstupního signálu E a rušivých veličin Y_i prakticky bezchybně vypočítat i matematicky (viz. „Inteligentní snímače“). [4]



Obr. 2. Symbol snímače

Snímače a akční členy vytváří rozhraní mezi vozidlem a většinou digitální řídicí jednotkou provádějící zpracování. Většinou se signály snímačů upravují pomocí přizpůsobovacích obvodů (viz. „Zpracování signálu“) do standardizovaného tvaru požadovaného řídicí jednotkou (měřicí řetězec, systém sběru naměřených hodnot, obrázek 3).



Obr. 3. Snímač v motorovém vozidle

Velké množství těchto přizpůsobovacích obvodů navržených pro speciální snímače a pro určité vozidlo je k dispozici v integrované formě. Představují velmi významné a cenné doplnění následně popsanych snímačů (kvůli limitovanému rozsahu nejsou v této příručce podrobně popisovány). Bez přizpůsobovacích obvodů by použití snímačů nebylo možné. [4]

1.2. Rozdělení snímačů

Dle měřené veličiny:

Snímače teploty, tlaku, průtoku, radiačních veličin ve viditelném, infračerveném a jiném spektru, mechanických veličin (posunutí, polohy, rychlosti, zrychlení, síly, mechanického napětí aj.), snímače elektrických a magnetických veličin aj.

Dle fyzikálního principu:

Snímače odporové, indukčnostní, indukční, kapacitní, magnetické, optoelektronické, aj.

Dle styku senzoru s měřeným prostředím:

Bezdotykové, dotykové

Dle transformace signálu:

Aktivní, pasivní.

Dle výrobní technologie:

Elektromechanické, mechanické, pneumatické, elektrické, elektronické, elektrochemické, polovodičové, mikroelektronické, optoelektronické aj.

Aktivní snímač je snímač, který se působením snímané veličiny chová jako zdroj elektrické energie.

Pasivní snímač je snímač, u kterého je nutné elektrickou veličinu (indukčnost, kapacitu, odpor) dále transformovat na analogový napěťový nebo proudový signál, přičemž měřicí veličinou je amplituda, kmitočet, fáze aj. U pasivních snímačů je na rozdíl od aktivních snímačů nezbytné napájení. [1]

1.3. Technologie výroby snímačů

Mechanické a elektromechanické snímače klasické konstrukce jsou vyráběny v menších sériích bývají rozměrné, drahé, ale mohou být velmi přesné.[2]

Tenkovrstvá technologie při výrobě snímačů spočívá ve vytváření monokrystalických, polykrystalických a i amorfních vrstev křemíku, izolantů a kovů o tloušťce 1nm až 1 μ m. [1]

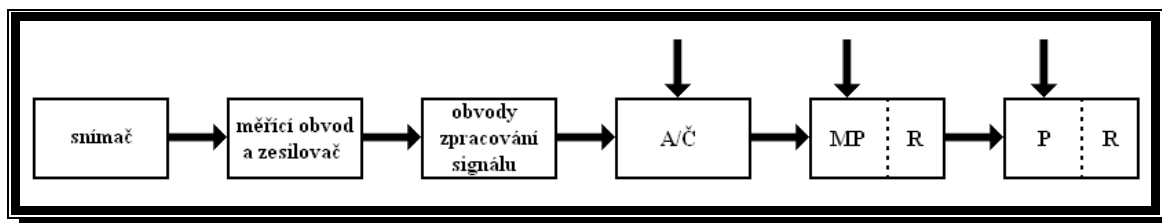
Vrstvy se nanášejí vakuovým nebo katodovým napařováním na základní vrstvu. Následně se na těchto vrstvách pomocí fotolitografií a selektivního leptání vytvoří prvky pasivní sítě obvodu snímače. Technologie tenkých vrstev zajišťuje u snímačů vysokou přesnost (nastavováním laserovým paprskem), stabilitu, malou časovou konstantu, spolehlivost, malé rozměry a hmotnost a lacinou sériovou výrobu s možnou integrací s Si integrovanými obvody.

Tlustovrstvová technologie využívá při výrobě vodičů, rezistorů a kapacitorů pasty vhodného složení, které se postupně pomocí sítotisku nanášejí na keramickou nebo umělohmotnou vrstvu a pak se suší a vypalují. Podobně jako u výše zmíněné technologie lze takto vyrobené snímače doplňovat integrovanými obvody.

Integrované snímače umožňují podstatné zmenšení rozměrů, a tím dochází kromě minimalizace parazitních impedancí a šumů k nárůstu rychlosti zpracování signálu, možnosti bezchybné výměny snímačů a snížení výrobních nákladů. [1]

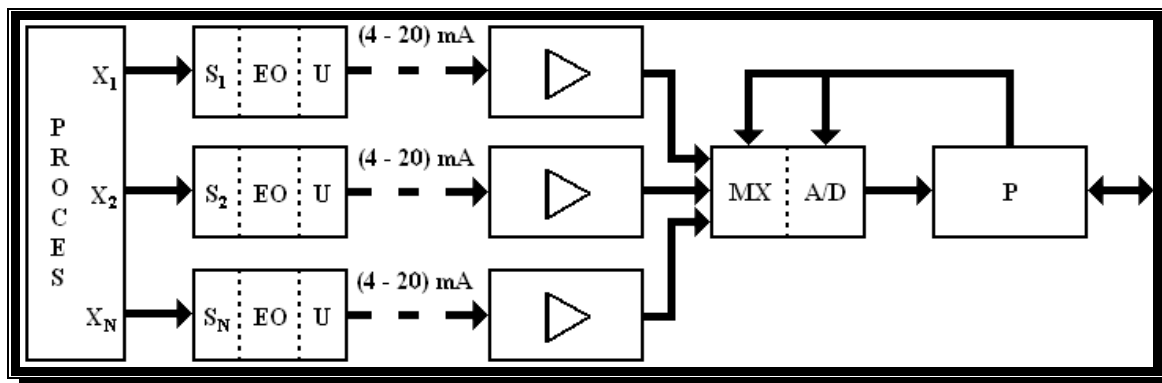
1.4. Měřicí řetězec

Transformovaný elektrický signál je zpravidla nutno zesílit. Při zesílení signálu je nezbytné zajistit dostačující odstup signálu od šumu snímače a zesilovače a od parazitních signálů (rušení elektrickým, magnetickým a elektromagnetickým polem, působením zemních smyček apod.) působících jak na snímač, tak i na zesilovač. Uvedené požadavky se realizují speciálními zapojeními zesilovačů, frekvenčním omezením signálu, modulací elektrické nebo přímo neelektrické veličiny s následnou synchronní demulací, nebo číslicovým zpracováním signálu. Následující zpracování signálu je řešeno buď analogovými obvody, nebo po analogově-číslcovém převodu číslicovou technikou vybavenou mikroprocesorem nebo mikrořadičem. [1]



Obr. 3 Blokové schéma měřicího řetězce se snímačem, A/Č – analogově číslicový převodník včetně vzorkovacích zesilovačů, multiplexerů apod. MP – mikropočítač (resp. mikrořadič, signálový procesor apod)., R – rozhraní, P – nadřazený výpočetní systém

Analogový výstup měřicího řetězce je v nejjednodušším případě realizován přímo ukazujícím přístrojem nebo zapisovačem, nebo pro přenos dat blokem unifikace signálu, modulátorem, případně optoelektronickým členem pro přenos modulovaného signálu světlovodem apod. Hodnoty analogových signálů jsou standardizovány na (0 – 10) V, (0 – 20) mA, (4 – 20) mA. Na obr. 4 je příklad centralizovaně řízeného snímačového systému. Nevýhodou uvedeného uspořádání je jednosměrný tok informace, omezené možnosti zpracování signálu, nemožnost nastavovat parametry snímačů a elektronických obvodů aj. [1]



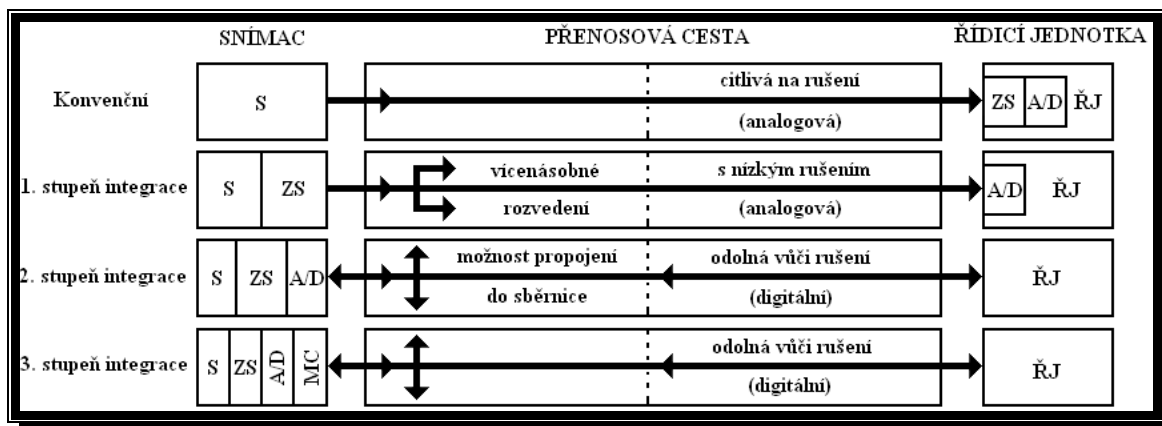
Obr. 4 Centralizovaný systém připojení snímačů a měřicích řetězců (S – snímač, EO – elektronické obvody, U – blok unifikace signálu, MX – multiplexer, A/D – analogově-číslcový převodník, P – počítač)

Při číslicovém zpracování signálu je výstup buď tvořen číslicovým měřicím přístrojem vybaveným rozhraním pro dálkové zpracování dat, nebo přímo rozhraním. U snímačů se nejčastěji používá sériové rozhraní (tj. se sériovým přenosem dat) dle evropského doporučení CCITT a amerického doporučení EIA, a to RS-232-C a RS-485. Zatímco u rozhraní RS-232-C je pro obousměrný bezpečný provoz nutno použít pět a více vodičů a dosah přenosu dat je při rychlosti 20 kbitů/s 15cm, u RS-485 postačí stíněná kroucená dvojlinka při rychlosti přenosu 20 Mbitů/s do vzdálenosti 1200 m. [1]

Další výhodou RS-485 je symetrický vstup, který potlačuje součtové rušivé signály a vyžaduje jediné napájení +5 V. Součástí každého rozhraní je komunikační protokol určující přenos naměřených dat, adres, řídicích a stavových signálů. Speciální sběrnice (např. ABUS aj.) se používají v automobilovém průmyslu. [1]

1.5. Inteligentní snímače

Inteligentní snímač (Smart Sensor) je snímač, který obsahuje obvody pro zpracování, analýzu a unifikaci signálu v jediném plynulém provedení s citlivou částí snímače.[1]



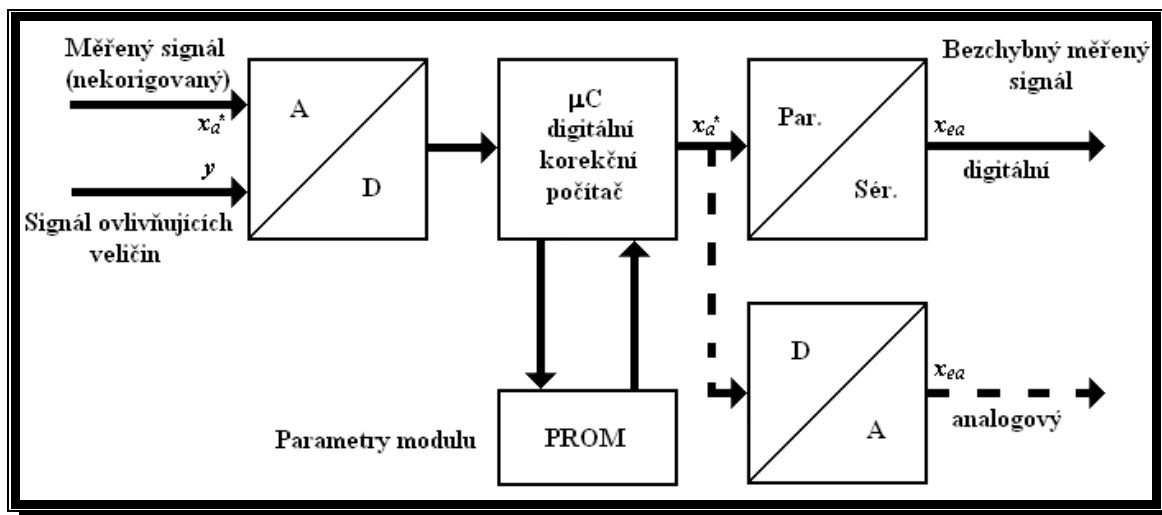
Obr. 5. Stupně integrace snímačů

Významný krok kupředu zde však představuje hybridní integrace snímače a elektronika pro zpracování signálu v místě měření až po komplexní digitální obvody jako analogové digitální převodník a mikropočítač (obrázek 5). Takové mikrosystémy se označují také jako „inteligentní snímače“, které zcela využívají přesnost snímače a poskytují následující možnosti:

- Odlehčení řídicí jednotky
- Jednotné flexibilní rozhraní vhodné k připojení ke sběrnici
- Vícenásobné využití snímačů
- Využití menších měřicích efektů a vysokofrekvenčních měřicích efektů (zesílení a demodulace na místě)
- Korekce odchylek snímačů v místě měření, jakož i společné vyvážení a kompenzace snímače a elektroniky, zjednodušené a vylepšené uložení individuálních korekčních informací v paměti PROM

Při současném snímání a digitalizaci rušivých veličin mohou „inteligentní snímače“ při použití matematického modelu snímače popsaného v části „Základy snímače“ (s rovnicemi 1 a 2) vypočítat požadovanou měřenou veličinu prakticky bezchybně.

K tomu se v předběžné operaci, která odpovídá dříve používanému procesu vyvážení, určí parametry modelu specifické pro daný exemplář (pomocné veličiny modelu vztahující se na vzorové jednotlivé kusy) a uloží se v paměti PROM integrované ve snímači (obrázek 6). Tímto způsobem lze značně vylepšit nejen statické, ale i dynamické vlastnosti snímačů. [4]



Obr. 6. Korekční modul inteligentního snímače

2. Technické parametry snímačů

Typické parametry charakterizující základní statické a dynamické vlastnosti snímačů lze shrnout do následujícího přehledu:

Statické parametry:

- a.) citlivost
- b.) dynamický rozsah
- c.) reprodukovatelnost
- d.) adaptivní a multiplikativní chyby
- e.) linearita

Dynamické parametry:

- a.) parametry časové odezvy
- b.) časová konstanta
- c.) šíře frekvenčního pásma
- d.) rychlost číslicového přenosu
- e.) šum

2.1. Statické parametry snímačů

Statická převodní charakteristika snímače je dána funkční závislostí $y = f(x)$ mezi vstupní veličinou x a výstupní veličinou y v časově ustáleném stavu. Tuto závislost lze velmi často popsat polynomem. [1]

$$y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_nx^n \quad (3)$$

Ideální statická charakteristika je dána vztahem

$$y = K \cdot x \quad (4)$$

kde K je citlivost snímačů a současně konstanta přenosové funkce.

Reprodukovatelnost snímače je dána odchylkou naměřených hodnot při krátkodobém časovém sledu měření neměnné vstupní veličiny a neměnných rušivých vlivů okolí.

Pro absolutní chybu měření platí $\Delta y = y_N - y_S$, kde y_N je naměřená hodnota a y_S je správná hodnota. [1]

Pro relativní chybu měření platí

$$\delta_y = \frac{\Delta_y}{y_s} \quad (5)$$

Relativní chyba snímače je dána vztahem

$$\delta_s = \frac{(\Delta_y)_{\max}}{y_{\max} - y_{\min}} \quad (6)$$

Pozn.: U snímačů se chyby často udávají vztažené ke vstupní veličině, tj. platí

$$\delta_s = \frac{(\Delta_x)_{\max}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (7)$$

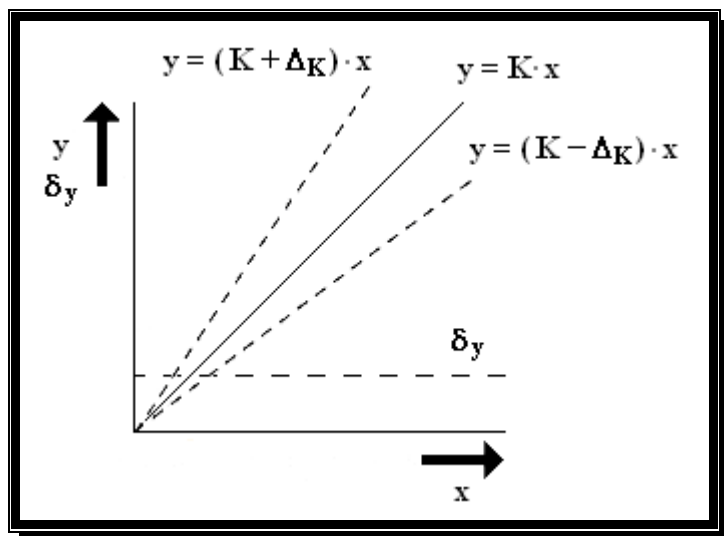
kde $\Delta x = x_N - x_S$.

Rozdělení chyb na aditivní a multiplikativní je teoretické rozdělení, které nám usnadňuje určení původu chyby. Adaptivní chyba δ_a je chyba způsobená posunutím jmenovité lineární charakteristiky. Chyba měření δ_y závisí hyperbolicky na veličině x . Aditivní chybu způsobí většinou posuv nulové nebo počáteční výstupní veličiny vlivem teplotního, časového, napájecího a jiného driftu offsetu. Mezi takto definované aditivní chyby patří:

- relativní chyba snímače
- třída přesnosti
- chyba linearity
- kvantovací chyba
- chyba vyjádřená počtem digitů

Pozn.: Relativní chyba snímače se ve světové literatuře obvykle označuje jako přesnost, i když se ve skutečnosti jedná o nepřesnost. Chyba linearity je nazývána také jako linearita, i když se jedná o odchylku od linearity. [1]

Multiplikativní chyba snímače je ekvivalentní změně citlivosti snímače. Statická charakteristika má rozdílný sklon od jmenovité charakteristiky dle obr. 8.



Obr. 8. Multiplikativní chyba

Hodnota absolutní multiplikativní chyby Δ_y je tedy závislá na hodnotě měřené veličiny. Platí vztahy

$$\Delta_y = \Delta_K \cdot x \quad (8)$$

$$\delta_y = \frac{\Delta_y}{y} = \Delta_K \frac{x}{y} = \frac{\Delta_K}{K} = \delta_K = konst.$$

neboli chyba měření je konstantní (Δ_K , K jsou konstanty). Je-li známa multiplikativní a aditivní chyba snímače, je výsledná chyba měření dána

$$\delta_y = \pm \left(|\delta_K| + \left| \delta_a \frac{y_{\max}}{y} \right| \right) \quad \text{resp.} \quad \delta_x = \pm \left(|\delta_K| + \left| \delta_a \frac{x_{\max}}{x} \right| \right) \quad (9)$$

Chyba linearity snímače je dána odchylkou od lineární (spojité analogové nebo kvantované) charakteristiky. Pro analogový signál se chyba linearity udává vztahem

$$\delta_L = \left(\frac{y_N - y_L}{y_{\max} - y_{\min}} \right)_{\max} \quad (10)$$

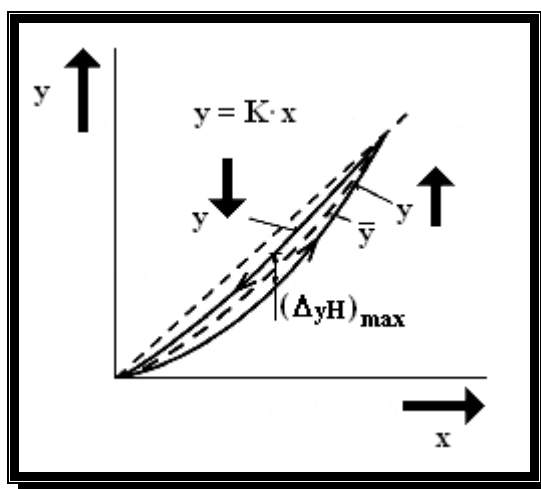
kde y_L je definována ideální lineární funkcí $y = K \cdot x$ nebo $y = y_0 + K_1 x$.

Speciálním případem nelinearity je hysterezní závislost $y = f(x)$ dle obr. 9.

Chyba hystereze je dle obr. 9 definována vztahy

$$\delta_s = \left(\frac{y \downarrow - y \uparrow}{y_{\max}} \right)_{\max} = \left(\frac{\Delta_{yH}}{y_{\max}} \right)_{\max} \quad (11)$$

kde \bar{y} je střední hodnota vzestupné a klesající závislosti $y \uparrow$, $y \downarrow$, $y = K \cdot x$.



Obr. 9. Hysterezní nelinearita

2.2. Dynamické parametry snímačů

Měřená hodnota fyzikální nebo jiné veličiny se neustále mění s časem. Snímače umístěné v regulačních smyčkách musí být navrženy tak, aby výstupní signál $y(t)$ sledoval s nejmenším zkreslením vstupní signál $x(t)$. Dynamické vlastnosti snímače je nezbytné znát pro analýzu měřicích systémů. Pokud rovnice není lineární, je nutno ji po úsecích linearizovat a dynamické chování sledovat v daných úsecích. Pro přenosovou funkci snímače platí v Laplaceově transformaci:

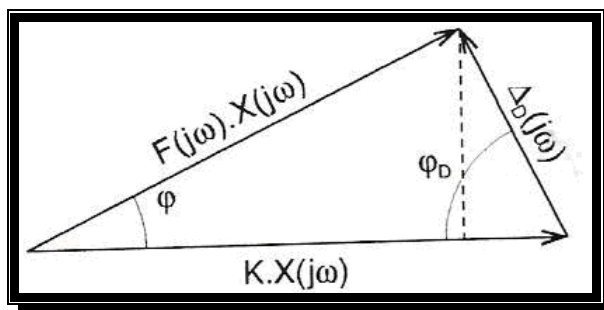
$$F(p) = \frac{Y(p)}{X(p)} = \frac{b_m p^m + b_{m-1} p^{m-1} + \dots + b_0}{a_n p^n + a_{n-1} p^{n-1} + \dots + a_0} \quad (12)$$

Dynamická chyba měření $\Delta_D(t)$ resp. $\delta_D(t)$ (tj. relativní dynamická chyba) je dána odchylkou mezi chováním reálného a ideálního snímače. Je-li časový průběh vstupní veličiny harmonický, platí pro výpočet dynamické chyby

$$\Delta_D(j\omega) = X(j\omega)[F(j\omega) - K] \quad (13)$$

Dynamickou chybu $\Delta_D(j\omega)$ pro jedinou harmonickou složku vstupní veličiny lze znázornit v názorovém diagramu dle obr. 10. Podle fázorového diagramu na obr. 10 platí dle kosinové věty pro absolutní dynamickou chybu.

$$|\Delta_D(j\omega)|^2 = |KX(j\omega)|^2 + |F(j\omega)X(j\omega)|^2 - 2|F(j\omega)X(j\omega)||KX(j\omega)|\cos\varphi \quad (14)$$



Obr. 10. Dynamická chyba harmonického signálu []

Pro fázový úhel chyby platí

$$\operatorname{tg} \varphi_D(\omega) = \frac{|F(j\omega)X(j\omega)| \sin \varphi}{|KX(j\omega)| - |F(j\omega)X(j\omega)| \cos \varphi} \quad (15)$$

Relativní hodnota dynamické chyby je dána vztahem

$$\Delta_D(j\omega) = \frac{F(j\omega)}{K} - 1 \quad (16)$$

Při číslicovém zpracování analogového signálu se dynamická chyba zvětší. Přírůstek dynamické chyby je způsoben vlastní podstatou kvantování, tj. vzorkováním analogové veličiny v diskrétních časových okamžicích. [2], [3]

3. Měření otáček a frekvence otáčení

Frekvence otáčení patří mezi kinematické veličiny, které charakterizují pohyb hmotných těles. Udává změnu polohy tělesa v určitém časovém intervalu ve zvolené souřadnicové soustavě. [9]

Otáčka je úhlová změna o 360° , kterou vykoná těleso okolo osy otáčení. Frekvence otáčení je celkový počet otáček, vykonaných tělesem za určitý časový interval, dělený tímto časovým intervalem

$$n = \frac{N}{t} \quad (17)$$

kde

n – frekvence otáčení

N – celkový počet otáček vykonaný za časový interval

t – délka časového intervalu

Jednotkou frekvence otáčení je s^{-1} . Otáčky za minutu (ot/min) a otáčky za sekundu (ot/s) jsou používané pojmy označující frekvenci otáčení. Úhlová rychlost ω se definuje vztahem

$$\omega = \frac{d\varphi}{dt} \quad (18)$$

Kde

ω - úhlová rychlost

$d\varphi$ – úhel pootočení tělesa okolo osy, vykonaný za časový interval

dt – délka časového intervalu

Jednotkou úhlové rychlosti je radián za sekundu (rad/s). Mezi frekvencí otáčení n a úhlovou rychlostí tělesa ω platí vztah

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot n \quad (19)$$

V praxi se často vyžaduje určení celkového množství otáček, které vykonalo těleso za určitou časovou jednotku. [6]

3.1. Spojité indukční otáčkoměry

Mezi spojité indukční otáčkoměry patří magnetické a elektromagnetické (stejnoseměrné nebo střídavé) otáčkoměry.

3.1.1. Elektrodynamické otáčkoměry

Elektrodynamické otáčkoměry jsou nejdůležitější skupinou otáčkoměrů. Podle indukčního zákona ($E = B \cdot l \cdot v$) generují napětí přímo úměrné otáčivé rychlosti v . Napětí měříme běžnými magnetoelektrickými voltmetry s lineární stupnicí. Stupnice je ocejchována přímo v ot/min. Z hlediska funkce je dělíme na indukční stejnosměrné otáčkoměry (tachodynamy) a indukční střídavé otáčkoměry (tachoalternátory). [5]

➤ Indukční stejnosměrný otáčkoměr (tachodynamo)

Indukční stejnosměrný otáčkoměr, který se v praxi běžně nazývá tachodynamo, patří k nejpoužívanějším analogovým otáčkoměrům. Jde v podstatě o malé dynamo s cizím buzením nebo s trvalými magnety. Kotva tachodynamy, která je pevně spojena s rotující měřenou součástí se nachází v magnetickém poli trvalého magnetu nebo elektromagnetu a při rychlosti otáčení v se do ní indukuje elektromotorické napětí E :

$$E = B \cdot l \cdot v \quad (20)$$

kde

E – elektromotorické napětí [V]

B – sycení [T]

l – aktivní délka vodiče kotvy [m]

v – rychlost otáčení [1/s]

Jestli známe průměr kotvy D pak je obvodová rychlost

$$v = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{60} \quad (21)$$

a elektromotorické napětí

$$E = B \cdot l \cdot \frac{\pi \cdot D \cdot n}{60} \quad (22)$$

Svorkové napětí tohoto dynama je v případě stálého magnetického toku Φ a zanedbatelného úbytku v obvodě kotvy přímo úměrné měřené frekvenci otáčení n .

$$U = \frac{p \cdot \Phi \cdot N}{a} \cdot n \quad (23)$$

kde

U – výstupní napěťový signál

p – počet pólových dvojic

Φ – magnetický tok

N – počet závitů kotvy

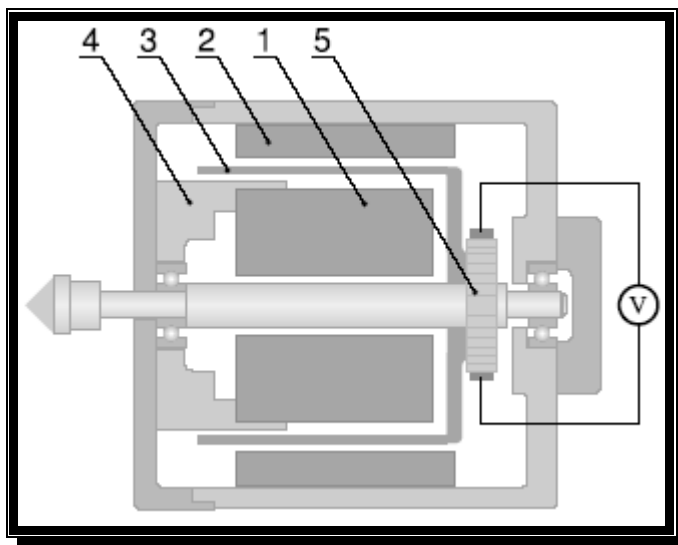
a – počet párů paralelních vinutí

n – neznámá frekvence otáčení

Skutečné svorkové napětí bývá o něco menší než elektromotorické napětí vlivem úbytku na vnitřním odporu kotvy (při zatížení), Výrobce proto předepisuje velikost zatěžovacího odporu. Při změně smyslu otáčení se u tachodynamy mění polarita výstupního napětí, což je výhodné v regulační technice.

Určitou nevýhodou tachodynam představuje jejich sběrací ústrojí (komutátor, kartáčky), protože se v případě znečištění může změnit jeho přechodový odpor. Podobně limituje maximální měřenou frekvenci otáčení přibližně do 6000 ot/min, protože při vyšších hodnotách kartáčky komutátoru dostatečně nepřiléhají a odskakují.

Příklad tachodynamy s trvalým litým magnetem představuje obr. 11. Ve vzduchové mezeře mezi permanentním magnetem 1 a vnitřní částí statoru 2 se pohybuje převislá kotva. Permanentní magnet je připájený do jednoho celku s deskou z niklové oceli 4, které permeabilita závisí od její teploty, takže kompenzuje změnu magnetických vlastností v důsledku jeho ohřevu. Tak se docílí snížení změny výstupního napětí v závislosti od teploty na 0,1 % při změně teploty o 10 °C. Výstupní napěťový signál se odvádí přes kartáčky komutátoru 5. [6]



Obr. 11. Tachodynamo s litým magnetem

Takové konstrukční řešení tachodynamu má velké přednosti v malé spotřebě proudu, malém momentě setrvačnosti jeho pohyblivé části a možnosti indikovat smysl otáčení. Linearita výstupního napětí signálu je lepší jak 1 %. Snímače mívají výkon 0,1 až několik desítek W.

➤ Indukční střídavý otáčkoměr (tachoalternátor)

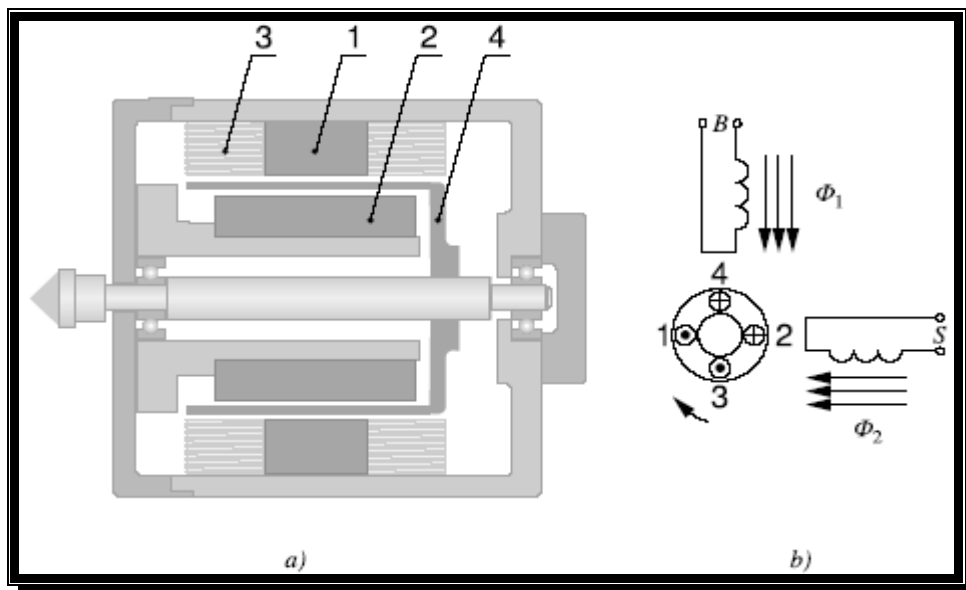
I tachoalternátor patří mezi často používané otáčkoměry. V porovnání s tachodynamem má tu výhodu, že neobsahuje žádné sběrací ústrojí (komutátor, kartáčky), neboť napětí, které je funkcí rychlosti otáčení se získává z cívek, které se nepohybují. Jeho výstupním signálem je střídavé napětí. Tachoalternátory se konstrukčně realizují dvojím způsobem a to jako indukční s bubínkovým (resp. klecovým) rotorem a nebo s přepislym rotorem. Řešení s přepislym rotorem představuje obr. 12. Stator snímače se dělí na vnější část 1 a vnitřní část 2 (obr. 12a). Obě části se zhotovují ze železných plechů. Dvojfázové vinutí 3 se nachází v drážkách vnějšího statoru. Jedna fáze je budicí, druhá fáze je snímací. Navzájem jsou pootočené o 90°_{el} (obr. 12b). Budicí vinutí se napájí konstantním střídavým proudem, obvykle s frekvencí 50 až 500 Hz. V případě nižších frekvencí (50 Hz) je vinutí dvojpólové, pro vyšší frekvence se používá čtyřpólové vinutí. Snímací vinutí je připojeno na voltmetr. Přepisly rotor 4 má obvykle tvar bubna. Vyrábí se z mědi, hliníku a nebo jiných vhodných slitin. Jeho stěna prochází mezi vnějším a vnitřním statorem.

V případě konstantního budicího napětí je výstupem ze snímače střídavé napětí se stejnou frekvencí a s amplitudou úměrnou frekvenci otáčení rotoru. Po změně smyslu otáčení se fáze výstupního napětí změní o 180° . [9]

Princip činnosti tachalternátoru uvádí obr. 12b. Střídavý budicí proud vyvolává střídavý magnetický tok ve směru osy budicího vinutí. Tento magnetický tok přechází přes převislý bubínkový (klecový) rotor a indukuje v něm napětí. Rotor se může považovat za nekonečně hodně vodivých vláken, spojených nakrátko na čelech bubínku. Když rotor stojí, indukuje se napětí v obvodě vláken 1 a 2, čím začne těmito vlákny procházet proud. Magnetický tok vyvolaný tímto proudem směřuje proti směru magnetického toku Φ_1 .

V snímacím vinutí se napětí neindukuje, jeho osa je kolmá na směr siločar magnetického toku Φ_1 i na směr siločar magnetického toku, vyvolaného proudem ve vláknech 1 a 2.

Když se rotor otáčí, jednotlivé vlákna přetínají siločáry magnetického toku Φ_1 . Nejvyšší napětí se indukuje ve vláknech 3 a 4, protože mají nejvyšší rychlost vzhledem ke směru siločar magnetického toku Φ_1 . Napětí, které vznikne ve vláknech 3 a 4, vyvolá přetečení proudu v těchto vláknech a tím i vznik magnetického toku Φ_2 . Jeho velikost je přímo úměrná velikosti magnetického toku Φ_1 a frekvenci otáčení rotoru. Měřicí rozsah tachalternátoru se pohybuje v rozsahu až do 8000 ot/min. Velikost výstupního signálu mezi 10 V až 100 V. Lineární průběh má jen v nezatíženém stavu a je lepší než 0,01 %, při zatížení napětí poklesne. Hlavní příčinou je induktivní složka impedance statoru, která se s narůstající frekvencí otáčení zvyšuje. Pro omezení vlivu teploty (změna odporu) musí být bubínek z materiálu s malým teplotním součinitelem odporu. Výkon otáčkoměru se pohybuje v rozsahu 10^{-3} W až několik W. [6]



Obr. 12. Tachoalternátor
a) konstrukční schéma b) princip činnosti

3.1.2. Magnetické otáčkoměry

Magnetoindukční otáčkoměr využívá vznik vířivých proudů v magnetickém poli permanentního magnetu (obr. 13). Rotor otáčkoměru 1 je pevně spojený s permanentním magnetem 2. Při svém otáčivém pohybu naindukuje vířivé proudy v hliníkovém kroužku 3, umístěném těsně nad ním, a teda unáší ho za sebou. Hliníkový kroužek má svojí vlastní hřídel 4, pevně spojený s ručičkou přístroje 6. To znamená, že by se mohl volně otáčet, roztočil by se s takovou stejnou frekvencí, jakou má rotující magnet. Jeho volnému otáčení brání spirálová pružina 5. Čím je vyšší frekvence otáčení rotujícího magnetu, tím vyšší síla působí na hliníkový kroužek. Kroužek se pootočí natolik, dokud se nedosáhne rovnováhy se silou spirálové pružiny. Pootočení kroužku, a teda i výchylka ručičky přístroje je přímo úměrná neznámé frekvenci otáčení hřídele přístroje. Velikost pootočení se dá vypočítat podle vztahu

$$\alpha = \frac{1}{5\pi} \cdot \frac{l \cdot H}{b \cdot h^3 \cdot E} \cdot \frac{p^2 \cdot \Phi^2}{\rho} \cdot n \quad (24)$$

kde

l – délka pružiny

b – šířka pružiny

h – tloušťka pružiny

E – modul pružnosti materiálu pružiny

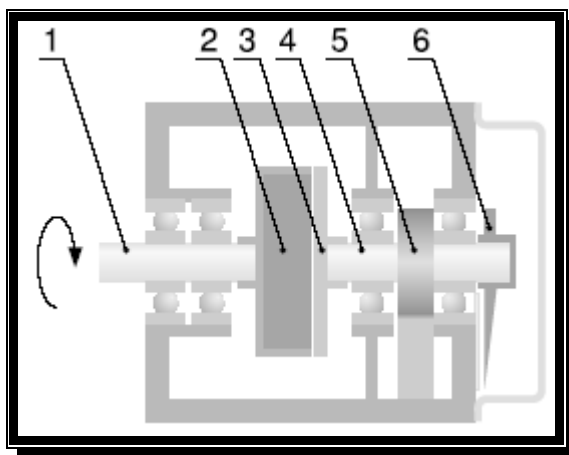
H – tloušťka hliníkového kotouče

ρ – specifický odpor kotouče

p – počet pólových dvojic trvalého magnetu

Φ – trvalý magnetický tok, procházející hliníkovým kotoučem

Magnetoindukční otáčkoměr se velmi často využívá pro určení rychlosti dopravních prostředků. V tom případě se neprojevuje jeho hlavní nevýhoda, totiž že se může použít jen na měření frekvence otáčení pro jeden smysl otáčení. Dovolená chyba magnetoindukčního otáčkoměru se pohybuje v rozsahu 1 až 2 % měřicího rozsahu. [6]



Obr. 13. Magnetoindukční otáčkoměr

3.2. Impulsní snímače otáček

Impulsní snímače otáček se používají na bezdotykové, velmi přesné snímání otáček. Na rozdíl od spojitých indukčních otáčkoměrů neovlivňují svým momentem setrvačnosti měřený objekt.

Existuje velké množství impulsních snímačů otáček, které využívají na generování impulsů různé fyzikální a konstrukční řešení. Všechny předpokládají vytvoření značky na rotující části snímače. Přejít značky (nejčastěji magnetické a optické) okolo citlivé části snímače způsobí vyslání impulsu do vyhodnocovací jednotky. Podle počtu vytvořených značek může rotující část snímače otáček generovat během jedné otáčky jeden nebo více impulsů. Elektrický snímač otáček tvoří jen snímací část celého otáčkoměru resp. počítadla impulsů. Nevyhnutelnou částí otáčkoměru resp. počítadla impulsů jsou elektronické obvody, zabezpečující počítání impulsů případně měření časového intervalu. [6]

3.2.1. Magnetické impulsní snímače otáček

Magnetický impulsní snímač otáček využívá při své činnosti magnetickou značku, vytvořenou na povrchu otáčející se součástky. Na zjišťování této značky se využívají různé snímače:

- kontaktní snímač
- magnetorezistivní snímač
- Hallův snímač
- indukční snímač
- indukčnostní snímač
- speciální (např. vibrační) snímače

Při vytváření magnetické značky na povrchu měřené součástky se musí dbát na to, aby magnetický impuls trval co nejkratší dobu. Dále se vyžaduje, aby na měřeném objektu nezůstali parazitní magnetické pole, které by mohli ovlivňovat přesnost snímače.

Například v případě použití indukčnostního snímače každá feromagnetická značka na rotujícím objektu vyvolá změnu magnetického toku a v cívkě snímače se bude indukovat napětí U_e

$$U_e = - \frac{d\Phi}{dt} \cdot N \quad (25)$$

kde

$d\Phi/dt$ – změna magnetického toku

N – počet závitů cívky

Velikost indukovaného napětí je teda přímo úměrná úhlové rychlosti. Snímač není vhodný na měření malé frekvence otáčení. Jeho výhodou je jednoduchost a velký výstupní signál.

➤ **Kontaktní snímač**

Jazýčkové kontakty (reed contacts) jsou dva kontakty zhotovené z plíšků magneticky měkkého materiálu jsou spínány polem permanentního magnetu. Hodnoty magnetického pole pro sepnutí a rozepnutí kontaktů se liší a vzniklá hystereze přispívá k odolnosti proti náhodnému sepnutí. Oba jazýčky jsou pokryty vrstvou vzácných kovů (Au, Ag, Pt) a zataveny do skleněné trubičky naplněné interním plynem pod nízkým tlakem. Bez působení magnetického pole jsou kontakty zpravidla rozpojeny – vyrábějí se ale i jazýčkové kontakty s opačnou funkcí (v nulovém poli sepnuté). Doba sepnutí je okolo 1 ms. [4]

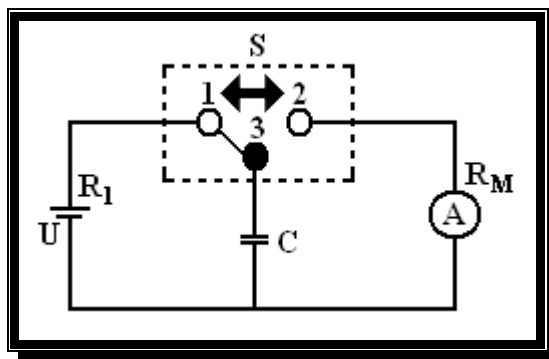
Principiální schéma kontaktního otáčkoměru je na obr. 14, kde spínač S představuje přepínač různého provedení. V poloze 1 dochází k nabíjení kondenzátoru C ze zdroje napětí U. Pro náboj q platí

$$q = CU \cdot \left[1 - \exp\left(-\frac{t_{nab}}{\tau_1}\right) \right] \quad (26)$$

kde

τ_1 - časová konstanta obvodu při nabíjení $\tau_1 = C \cdot R_1$, kde R_1 představuje celkový odpor nabíjecích obvodu.

t_{nab} - čas, po který se kondenzátor nabíjí



Obr. 14. Princip kontaktního otáčkoměru

V poloze 2 se pak kondenzátor vybíjí přes měřidlo s vnitřním odporem R_M a platí obdobně

$$q_2 = q \cdot \exp\left(-\frac{t_{vyb}}{\tau_2}\right) \quad (27)$$

kde

q – náboj na kondenzátoru na začátku vybíjení

$\tau_2 = C \cdot (R_M + R_2)$ – časová konstanta vybíjecího obvodu

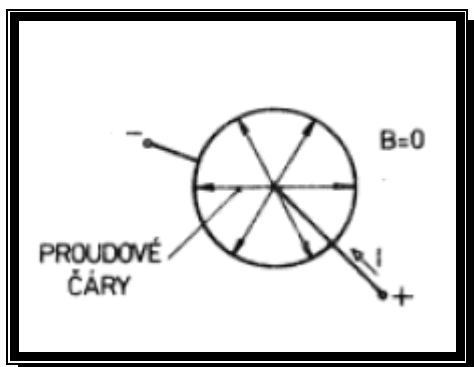
t_{vyb} – čas vybíjení

S ohledem na požadavek konstantního kvantování náboje během každého pulsu musíme zajistit, aby se kondenzátor při sepnutí stačil zcela nabít a při rozpojení vybít. Z této úvahy vyplývají požadavky na velikost kapacity kondenzátoru (příp. odporu). U měřičů tohoto typu neměříme střední vybíjecí (nabíjecí) proud přímo, ale pulsy se nejdříve zesílí, tvarují a integrují.

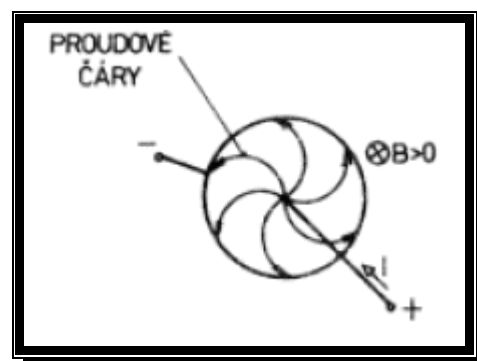
➤ Magnetorezistivní snímač

Magnetorezistor je dvoupólová součástka, která mění svůj odpor působením magnetického pole. Pro činnost vyžaduje magnetorezistor polovodičový materiál s velkou pohyblivostí nosičů náboje. Jeden kontakt je vyveden ze středu kotoučku, druhý kontakt tvoří kovová elektroda obepínající kotouček po obvodu. Nepůsobí-li magnetické pole, proudové čáry se rozloží, při vyznačené polaritě napětí, (obr. 15) rovnoměrně a nejkratším směrem od středu k jeho obvodu. Součástka má určitý odpor R .

Vložíme-li kotouček do magnetického pole, kolmo ke směru magnetické indukce B , působí magnetická indukce na nosiče náboje silou, která mění směr jejich pohybu a prodlužuje jejich dráhu v polovodičovém materiálu (obr. 16). To se projeví zvětšením odporu součástky. Zvětšení odporu součástky je řádově asi v desetinásobcích původní hodnoty.

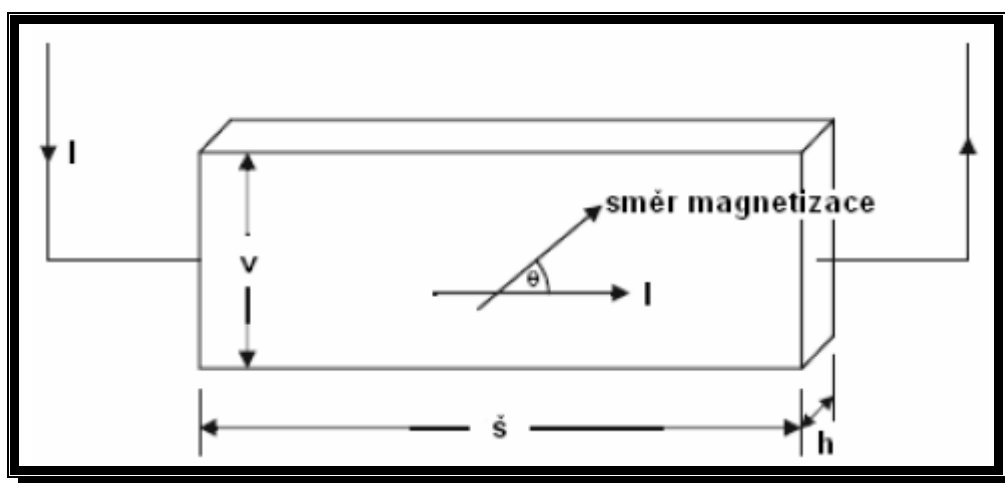


Obr. 15. Magnetorezistor – bez mag. pole



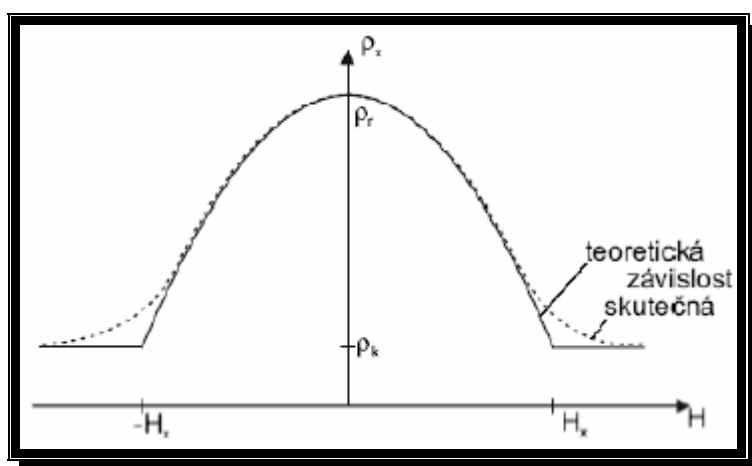
Obr. 16. Magnetorezistor – s mag. polem

Magnetorezistivní snímače fungují na několika odlišných principech. Např. Anizotropní rezistor (AMR) využívající anizotropní magnetorezistivní jev, který se dobře projevuje v tenkých feromagnetických vrstvách. Používá se Permalloy (Py), slitina NiFe s obsahem niklu cca 80%, protože se v těchto materiálu o dané tloušťce silně projevuje jev AMR.



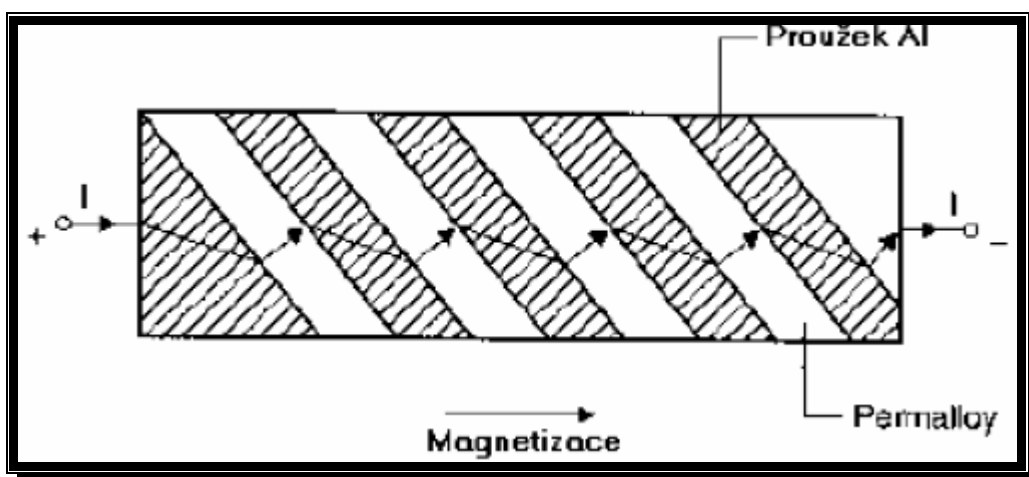
Obr. 17. Princip anizotropního jevu

Na obr. 17 je zobrazen anizotropní jev v proužku Py. Vlivem vnějšího magnetického pole je ovlivněn úhel mezi směrem magnetizace a podélnou osou, ve které protéká proud I . Největší odpor elektrickému proudu je kladen, když směr magnetizace má rovnoběžný se směrem el. proudu. Pokud směr magnetizace a směr el. proudu jsou na sebe kolmé, materiál Py klade el. proudu nejnižší odpor.



Obr. 18. Závislost rezistivity na intenzitě magnetického pole

Z obrázku je vidět, že závislost rezistivity ρ na intenzitě H je funkcí sudou. To značí, že nelze určit směr působícího pole. Tato nevýhoda se řeší použitím struktury tzv. „Barber Poles“. Na povrchu Py jsou přichyceny proužky z hliníku pod úhlem 45° k podélné ose (obr. 19).

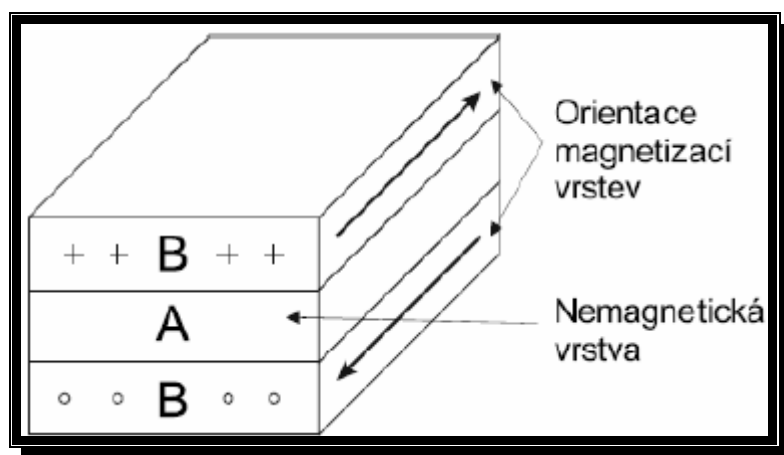


Obr. 19 Struktura „Barber poles“

Protože hliník má vyšší elektrickou vodivost než Py, proud protéká nejkratší cestou mezi hliníkovými pásky. Tím se docílí posunutí pracovního bodu mezi vrchol charakteristiky a zlom saturační oblasti do středu. Pak je možno určit směr působícího pole podle změny rezistivity. Charakteristika má velký sklon a citlivost je vysoká.

Tyto magnetorezistory mají nevýhodu, že při vystavení snímače silnému magnetickému poli může dojít k narušení struktury a jednotné orientace magnetických domén materiálu. To je příčinou nižší magnetizaci proužku. Ve snímači je integrována cívka pro vytvoření silného magnetického pole. Tato cívka se nazývá „flipovací“ cívka. Pomocí flipování můžeme vylepšit vlastnosti snímače. Výstupní napětí z AMR má velikost jednotky až desítky mV. Protože je výstupní napětí příliš malé, je vhodné napětí modulovat.

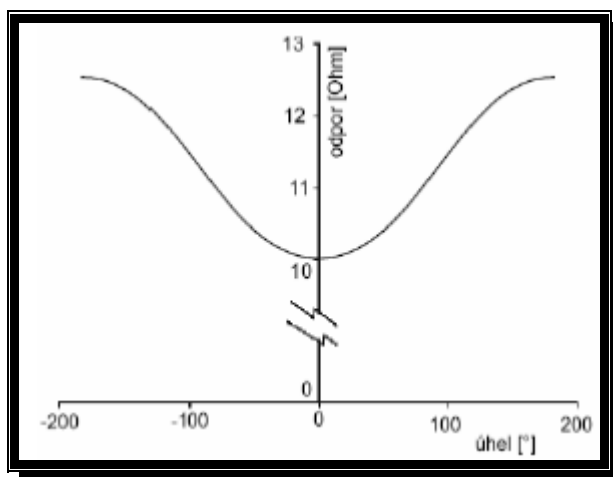
Dalším principem magnetorezistoru je gigantický magnetorezistivní jev (GMR). V roce 1988 objevil Baibich, že ve vícenásobných vrstvách o tloušťce několik nanometrů (nm) dochází k 50% změně odporu, když je při nízkých teplotách přiloženo vnější magnetické pole. Tato změna odporu, která vešla do literatury jako jev „Giant Magneto Resistance“ (GMR), je mnohem větší než u snímačů AMR. Nejjednodušší struktura se skládá ze dvou tenkých vrstev feromagnetického materiálu (Py, Nikl) a jedné tenké vrstvy nemagnetické, ale elektricky vodivého materiálu (Cu) viz obr. 20. [4]



Obr. 20. Struktura snímače GMR

Horní a spodní feromagnetické vrstvy jsou nesteréjně magneticky orientovány z důvodu energeticky lepšího stavu. Úhel mezi magnetizací horní a dolní vrstvy udává celé struktury.

Největší odpor je při nesouhlasné magnetizaci vrstev. Naopak nejmenšího odporu se dosáhne souhlasnou magnetizací vrstev (obr. 21).



Obr. 21. Závislost odporu na úhlu orientace magnetizace vrstev

Magnetorezistory se mohou podobně jako Hallovy snímače používat ke snímání otáček ozubeného kola. Jsou značně teplotně závislé, musíme je proto používat v diferenciálním provedení. Odpor magnetorezistorů se mění v závislosti na intenzitě magnetického pole. Vhodného pracovního bodu dosáhneme pomocí permanentního magnetu, který vytváří magnetické předpětí.

Magnetorezistory jsou pasivní součástky odolné proti rušení. Jejich výstupní napětí je v řádu jednotek voltů a není zapotřebí jej dále zesilovat.

➤ **Hallův snímač**

Hallův jev (E.H.Hall. 1879) spočívá v tom, že příčné magnetické pole s indukcí B působí na polovodič, kterým prochází elektrický proud s tím, že kolmo na vektor indukce a proudu vzniká Hallovo napětí. Schéma Hallova snímače je na obr. 22. Výstupní napětí je rovno vztahu:

$$U_o = U_H = K_H \cdot \frac{I_P \cdot B}{d} \quad (28)$$

kde

I_P – proud polovodičem

B – magnetické indukce

d – tloušťka polovodiče

K_H – Hallova konstanta

Hallova konstanta pro materiál bez přechodů PN znamená:

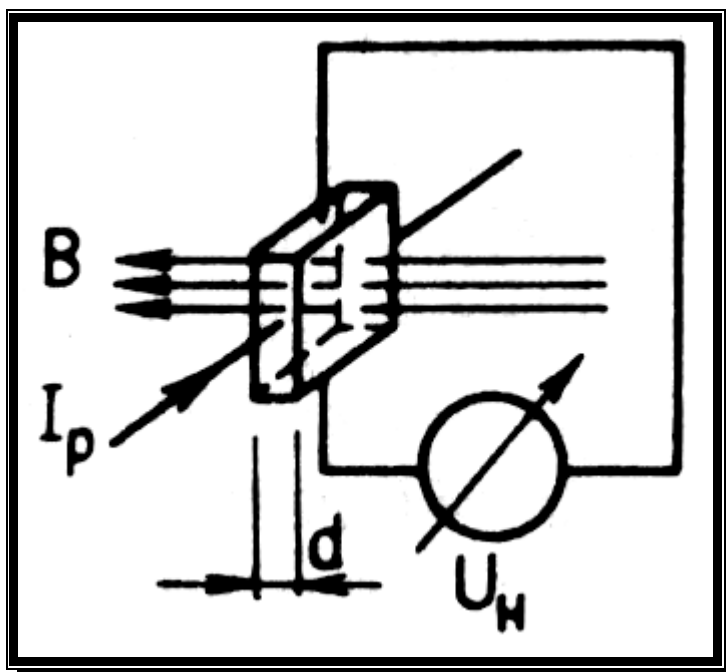
$$K_H = \frac{3}{8 \cdot n_q \cdot q} \quad (29)$$

kde

n_q – hustota nosiče náboje

q – elementární náboj

Jsou-li v polovodiči nosiče nábojů, tj. díry i elektrony je konstanta složitější.



Obr. 22. Schéma principu Hallova snímače

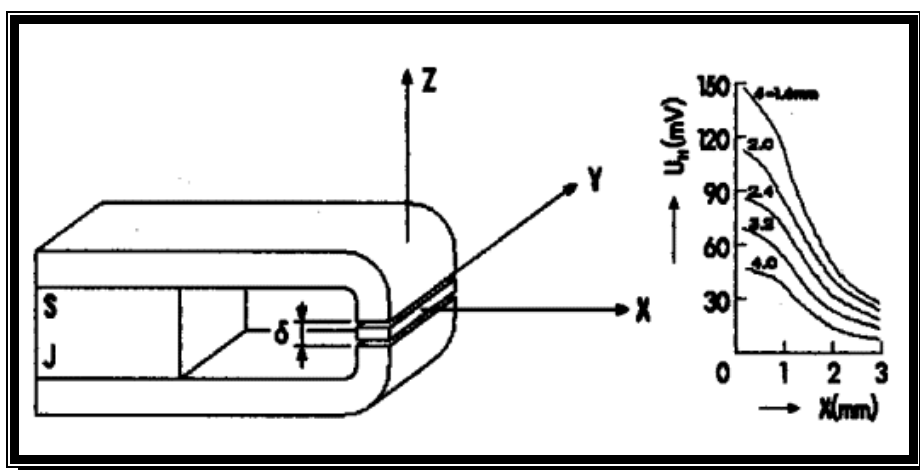
Schéma provedení Hallova snímače je na obr. 23. Působí-li na snímač magnetické pole o indukci B a jestliže proud I_p procházející polovodičem je konstantní, pak výstupní napětí senzoru je funkcí indukce magnetického pole a na vystupuje napětí:

$$U_H = k_1 \cdot f(B) \quad (30)$$

kde

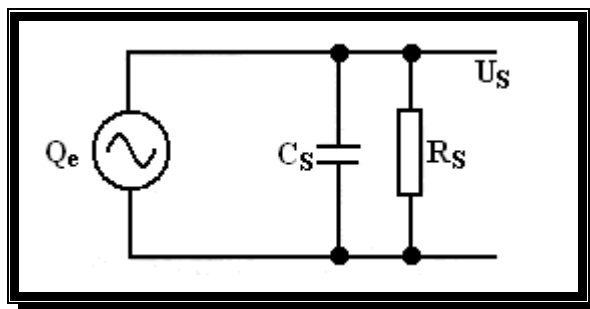
k_1 – konstanta

Mezi pólovými nadstavci z magneticky měkkého materiálu je ve vzduchové mezeře o výšce h destička z vlastnostmi Hallova článku. Závislost výstupního napětí U_H na poloze destičky x pro vzduchovou mezeru h je uvedena současně na obrázku. [4]



Obr. 23. Provedení Hallova snímače

Náhradní elektrické zapojení senzoru je na obr. 24. Jedná se o aktivní senzor, tj. senzor je zdrojem elektromotorického napětí Q_e . Materiál senzoru tvoří pro elektrický obvod paralelní odpor R_s a kondenzátor o kapacitě C_s . Na výstupu senzoru je pak napětí U_s .



Obr. 24. Náhradní schéma Hallova snímače

Nelineární závislost se dá odstranit diferenčním uspořádáním. Nejjednodušší provedení je použití dvou otevřených magnetických obvodů s feritovými magnety. Průběh charakteristiky je lineární pro malé změny polohy v rozsahu 0 až ± 1 mm.

Jiné provedení magnetického obvodu s dvojitým magnetickým obvodem je při využití malé vzduchové mezery.

Vlastnosti senzoru se mění se změnou parametrů magnetického obvodu a senzoru. Velký vliv má teplota. Ovlivňuje jednak magnetickou indukci, jednak Hallovu konstantu. Pro přesná měření se musí kompenzovat její vliv. Senzor se používá pro snímače měření indukce magnetického pole nebo odvozených veličin. Lze jej použít i pro snímání polohy, otáček, zrychlení. Zajímavé použití je při měření stejnosměrného proudu, když se zajistí konstantní magnetická indukce. Často je použit senzor pro limitní snímače. Jako polovodiče jsou používány materiály z Ge, Si, InAs, InSb, HgTe, HgSe. [3]

➤ Indukční snímač

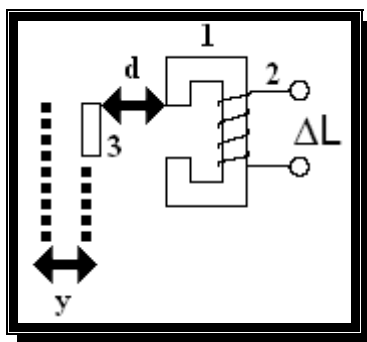
U těchto snímačů se mění magnetický tok nejčastěji se změnou impedance magnetického obvodu. Princip snímače je naznačen na obr. 25. Na jádro permanentního magnetu 1 je nasazena cívka 2 s N_z závitů. Ve vzdálenosti d od pólových nástavců magnetu je měřená feromagnetická část 3. Napětí ve snímací cívce 2 je dáno časovou změnou magnetického toku podle rovnice (33), přičemž

$$\Phi = \frac{U_m}{R_m} \quad (31)$$

kde

U_m – magnetomotorické napětí

R_m – magnetický odpor obvodu



Obr. 25. Princip indukčních snímačů

Pohybem feromagnetické části se mění vzduchová mezera od své původní klidové polohy o výchylku y . Zanedbáme-li magnetický odpor v železe platí vztah

$$R_m \approx \frac{2 \cdot d}{\mu_0 \cdot s} \cdot \left[1 + \frac{y}{d} \right] \quad (32)$$

kde

S – průřez jádra

μ_0 – permeabilita vakua

Napětí indukované v cívce je dáno Faradayovým zákonem

$$u = -N_z \cdot \frac{d\Phi}{dt} \quad (33)$$

kde

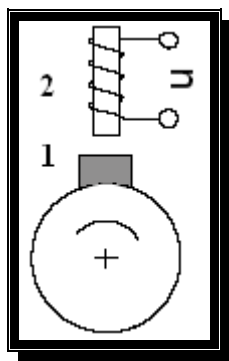
N_z – počet závitů cívky

Po dosazení získáme

$$u = -N_z \cdot \frac{d\Phi}{dt} = \frac{-N_z \cdot U_m \cdot \mu_0 \cdot s}{2 \cdot d^2} \cdot \frac{dy}{dt} = k \cdot v \quad (34)$$

Výstupní napětí je úměrné rychlosti pohybu, tj. rychlosti otáčení.

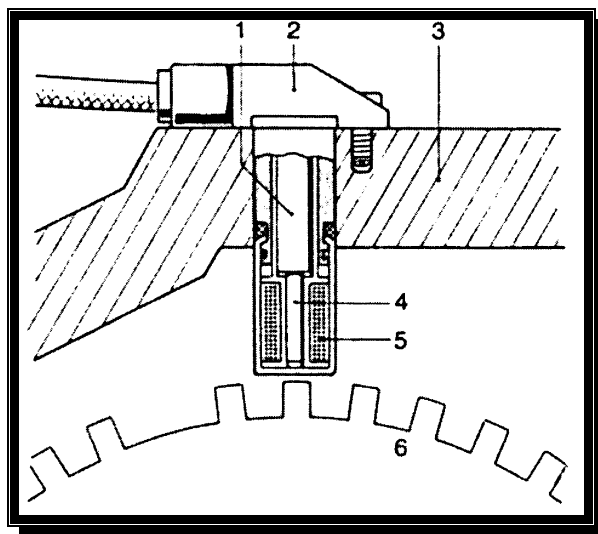
Indukční otáčkoměr lze realizovat různým způsobem. V každém případě se jedná o aktivní snímač, u něhož se využívá indukčního zákona. Jedná z možných konstrukcí je principiálně znázorněna na obr. 26. Na hřídeli je upevněn malý permanentní magnet 1, který při otáčení indukuje v pevné cívce 2 pulsy, jejichž počet je úměrný rychlosti otáčení.



Obr. 26. Indukční otáčkoměr

➤ Indukčnostní snímač

Snímač tvoří feromagnetický ozubený kotouč umístěný na klikovém hřídeli. Na ozubeném kotouči je místo pro 60 zubů (6 na obr. 27), avšak dva zuby jsou vynechány. Platí pro systém Motronic firmy Bosch. Vynecháním dvou zubů je označeno místo, nazývané se vztažná značka. Značka označuje polohu klikové hřídele odpovídající např. horní úvratí (HÚ) prvního válce. Induktivní snímač snímá posloupnost těchto 58 zubů. Když se jedná o induktivní snímač, je využito magnetického toku. Zdrojem magnetického toku je permanentní magnet (1 na obr. 27) s měděnou cívkou (2 na obr. 13) navinutou na tyčovém jádru z měkké oceli (pólový nástavec - 4 na obr. 27). Kryt snímače (2 na obr. 27) je pevně připojeno k bloku motoru (3 na obr. 27). Vodiče v kabelu vedou k řídicí jednotce, která podle přijatých informací vypočítá rychlost otáčení a řídí regulaci. Na obr. 27 je schématické zobrazení snímače. [5]

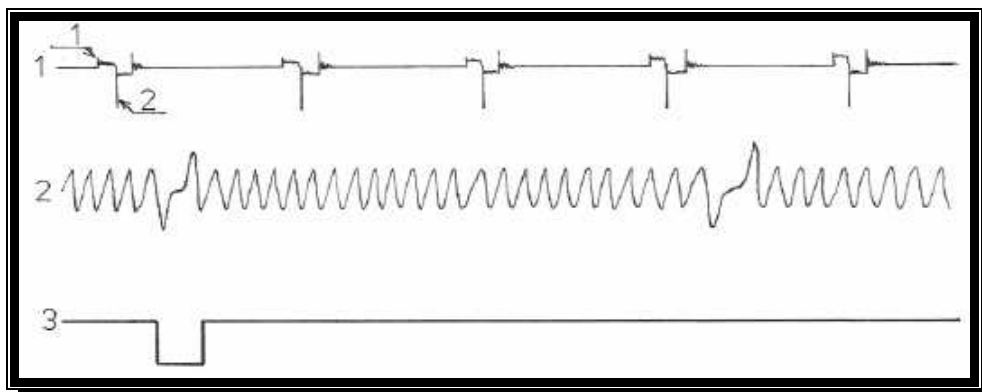


Obr. 27. Schématické zobrazení snímače

- | | |
|--------------------------|---------------------|
| 1 – Permanentní magnet | 4 – Pólový nástavec |
| 2 – Kryt snímače | 5 – Vinutí snímače |
| 3 – Kliková skříň motoru | 6 – Ozubené kolo |

Při otáčení kotouče procházejí střídavě zuby s malou vzduchovou mezerou blízko snímače. Střídáním zubů a mezer mezi zuby v magnetickém obvodu se ve snímači indukuje střídavé napětí vlivem měnícího se magnetického toku. Napětí je indukováno v cívce. Amplituda napětí se zmenšuje s rostoucí vzdáleností mezi snímačem a ozubeným kotoučem a roste se stoupajícími otáčkami. Dostačující amplituda napětí je k dispozici už při 20 otáčkách za minutu. Řídící jednotka upravuje průběh napětí s různými amplitudami na napětí o konstantní amplitudě (viz. obr. 28). Napětí má obdélníkový průběh.

Průběh 1 je sekundárním napětí zapalovací cívky (1 - sepnutí, 2 - rozepnutí - zážeh). Průběh 2 je průběh signálu, který je výstupem snímače otáček na klikové hřídeli. Průběh 3 je signál z Hallova snímače na vačkové hřídeli.



Obr. 28.

- 1 - Signál sekundárního napětí zapalovací cívky
- 2 - Průběh signálu ze snímače otáček na klikovém hřídeli
- 3 - Signál z Hallova snímače na vačkovém hřídeli

Přesná poloha HÚ prvního válce je určena tak, že je odstup hran průběhu napětí více jak dvakrát větší než předcházející vzdálenosti hran napětí. Vzdálenost hran napětí je dána vynecháním dvou zubů. V okamžiku, kdy je zjištěna dvojnásobná vzdálenost mezi hranami napětí, provede řídicí elektronika synchronizaci polohy klikového hřídele se svými hodnotami. S každou následující náběžnou nebo sestupnou hranou počítá řídicí jednotka s natočením o další úhel. Velikost úhlu je závislá na počtu zubů ozubeného kotouče. Pro 60 zubů je to úhel 3° . Protože zapálení směsi musí být prováděno velmi přesně, čas měřený mezi dvěma hranami signálu se rozdělí na čtyři stejné části. K hraně zubu tak může být vypočtený čas pro úhel natočení $0,75^\circ$ přidán jednou, dvakrát nebo třikrát. [5]

Přesazení válců u čtyřdobého motoru je provedeno tak, že pracovní cyklus prvního válce se obnoví vždy po dvou otáčkách klikového hřídele, odpovídající úhlu otočení 720° . Přesazením je dán čas mezi jednotlivými zápaly a střední odstup mezi zapalováním. Při rovnoměrném rozložení přesazení platí pro různý počet válců:

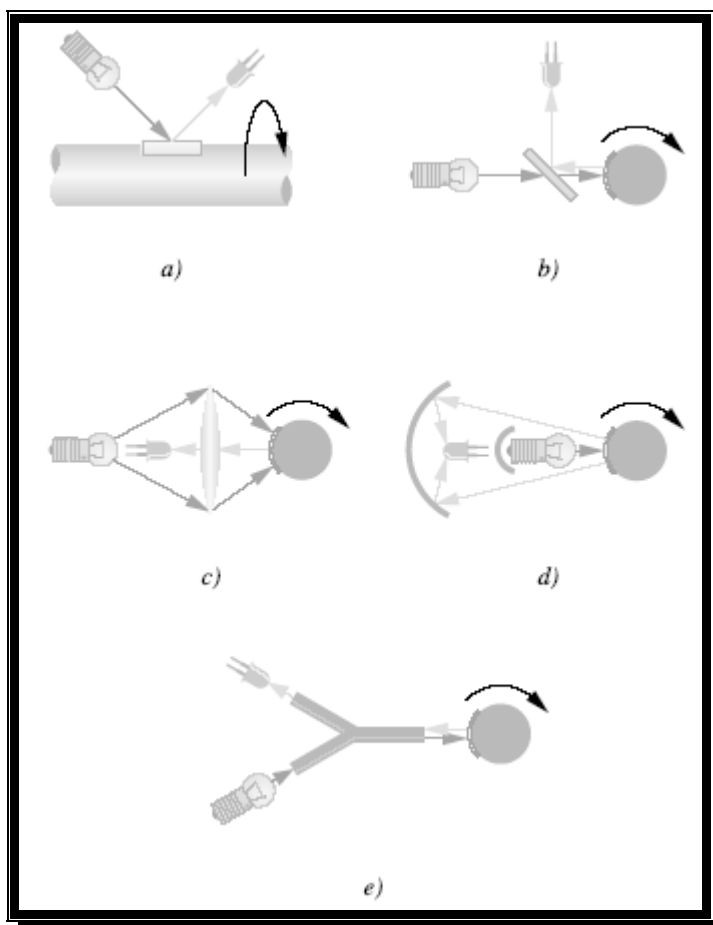
Přesazení	Úhel [°]	Počet zubů
2 válec	360	60
3 válec	240	40
4 válec	180	30
5 válec	144	24
6 válec	120	20
8 válec	90	15
12 válec	60	10

Z času mezi jednotlivými zápaly jsou odvozeny otáčky, pomocí kterých jsou nově vypočítány okamžiky zapalování a vstřikování. Otáčky udávají střední hodnotu otáček klikového hřídele v čase mezi zápaly a jsou úměrné jeho převrácené hodnotě.

3.2.2. Fotoelektrické impulsní snímače otáček

Fotoelektrický impulsní snímač otáček využívá generování optických impulsů v závislosti od frekvence otáčení hřídele. Všeobecně se fotoelektrické impulsní snímače otáček konstruují tak, že světelný paprsek se od rotující části snímače může odrážet, a nebo ho rotující část může clonit. Na soustředění světelného paprsku do daného místa hřídele se používá pomocná optika, pozastavující z čočky, zrcadla a světlovou.

Na obr. 29 jsou znázorněny některé příklady možného uspořádání fotoelektrického impulsního snímače otáček. Všechny schémata využívají odraz světla. Uspořádání podle obr. 29a se používá jenom výjimečně, protože je choulostivé na správné nastavení. Řešení podle obr. 16b využívá polopropustné zrcadlo. Obr. 29c znázorňuje princip fotoelektrického impulsního čítače se zdrojem světla i s citlivým prvkem uspořádanými ve stejné ose. Jako pomocný prvek se využívá čočka s otvorem, ve kterém se nachází citlivý prvek. Podobné uspořádání představuje i obr. 29d, ve kterém se namísto čočky používá dvojice zrcadel. Obr. 29e znázorňuje využití světlovou na přenos optických impulsů. Vzhledem na malé rozměry optického vlákna se s výhodou používá při měření frekvence otáčení na těžko přístupných místech, případně tam, kde se vyžaduje přenos signálu na větší vzdálenost. [6]



Obr. 29. Různé uspořádání fotoelektrického impulsního snímače otáček

3.3. Stroboskopické otáčkoměry

Stroboskopický otáčkoměr je funkčně založen na setrvačnosti zrakového vjemu a tím spojování oddělených fází pohybu na vjem spojitého pohybu. Principiální uspořádání mechanického stroboskopu je na obr. 30. Na měřeném rotujícím předmětu 1 ozařovaném tokem Φ_{SV} přes clonu 2 s výřezy se vytvoří značka. Otáčky clony n_C se regulují tak, aby se značka na měřeném předmětu zdánlivě zastavila. To nastane tehdy, jestliže se měřený předmět otočí jednou (nebo několikrát) za dobu, za kterou se clona pootočí o rozteč mezi štěrbinami. Otáčky předmětu n_P budou určeny vztahem

$$n_P = k \cdot p \cdot n_{C1} \quad (35)$$

kde

p – počet štěrbin na cloně

k – celé číslo udávající počet otočení předmětu za dobu otočení clony o jednu šterbinu

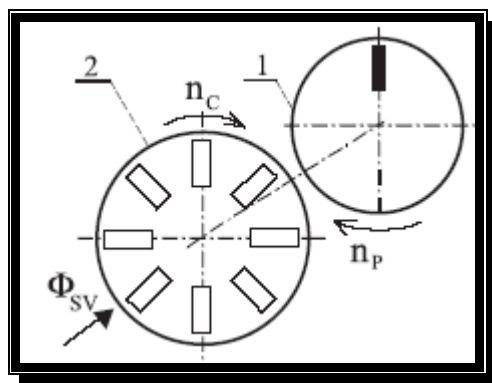
Pro vyloučení neznámé k se zvětšuje rychlost clony tak, aby se poloha značky ustálila ještě jednou, takže analogicky platí

$$n_p = (k - 1) \cdot p \cdot n_{c2} \quad (36)$$

Porovnáním výrazů pro parametr k z obou rovnic získáme pro měřenou rychlost předmětu vztah:

$$n_p = p \cdot \frac{n_{c1} \cdot n_{c2}}{n_{c2} - n_{c1}} \quad (37)$$

Snadněji lze téhož efektu docílit elektronicky osvětlením značky předmětu světelnými záblesky výbojky napájené z pulsního generátoru s regulovatelným kmitočtem.



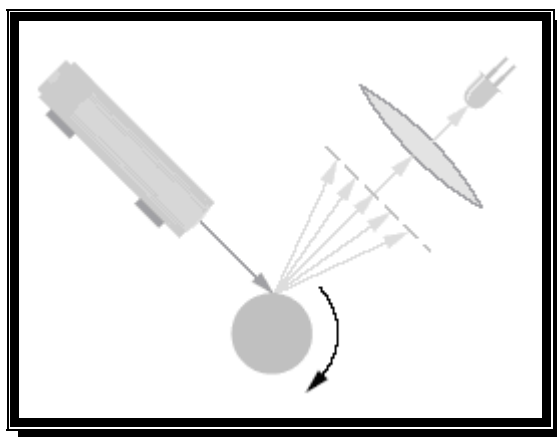
Obr. 30. Stroboskopický snímač otáček

3.4. Speciální otáčkoměry

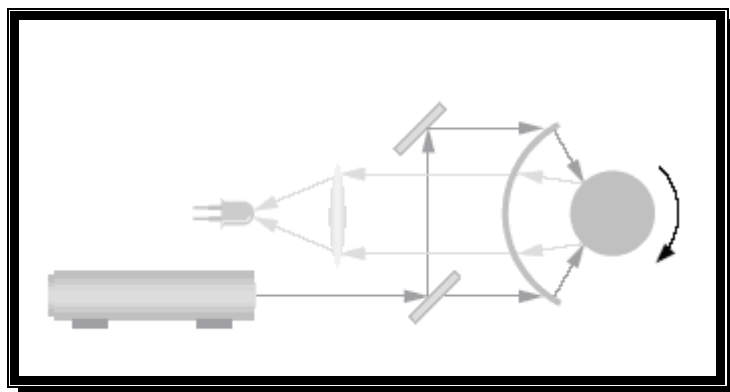
V technické praxi se objevují i otáčkoměry, založené na principu využívání laseru, světelného a ultrazvukového signálu, ionizujícího záření apod. K speciálním otáčkoměrům se zařazují i snímače pro extrémně malé frekvence otáčení, využívající Segnacov jev.

Jedním z příkladů speciálních otáčkoměrů je laserový otáčkoměr podle obr. 40. Využívá jev, vznikající při osvětlení povrchu rotujícího objektu koherentním světlem. Osvětlený povrch se chová jako velký počet elementárních zdrojů světla. Z nich se šíří světlo do okolního prostoru, kde navzájem interferují. Vytvářejí přitom mřížku z tmavších a světlejších skvrn. Když se pohybuje předmět, na který dopadá koherentní světlo laseru, pohybují se úměrně i tyto skvrny. V případě, že se do definované vzdálenosti umístí zodpovídající optická mřížka, fotoelektrický snímač za touto mřížkou vysílá signál, jehož frekvence je úměrná rychlosti pohybu osvětleného objektu.

Jiný způsob využití laseru na měření frekvence otáčení představuje obr. 41. Využívá se tu Dopplerův jev. Paprsek světla z laseru se pomocí polopropustného zrcadla rozdělí na dvě rovnoběžné větve. Ty se pomocí čočky soustředí do jednoho bodu na povrchu otáčejícího se objektu. Elementární plochy otáčejícího se tělesa v tomto bodě odrážejí a rozptylují světlo, které vede do fotoelektrického snímače generující signál, který má frekvenci úměrnou obvodové rychlosti měřeného objektu. [6]



Obr. 40. Laserový otáčkoměr s optickou mřížkou



Obr. 41. Laserový otáčkoměr využívající Dopplerův jev

4. Zpracování signálů snímačů

Dříve, než se signály snímačů přivedou k obecnému digitálnímu vyhodnocení, potřebují specifické zpracování. Toto zpracování signálu, pokud je potřebné, může obsahovat následující funkce:

- Zesílení (stejnoseměrné, střídavé)
- Usměrnění (také fázově synchronní)
- Vyhodnocení prahových úrovní (také pohyblivé úrovně), tvarování impulsů
- Napěťová a frekvenční konverze, pulsně šířková modulace
- Frekvenčně závislé filtrování včetně přepětíové ochrany
- A/D nebo D/A převod
- Kompenzace offsetu a zesílení
- Linearizace
- Vyvážení teplotní kompenzace (analogové, digitální)
- Automatické nulování, případně také kalibrace za provozu
- Vlastní kontrola a testovací funkce
- Generování střídavého napětí
- Výstupní a budicí stupně odolné proti zkratu a přepětí
- Kódování, včetně rozpoznání chyb
- Sběrníková rozhraní (např. CAN) atd.

Všechny tyto funkce jsou většinou k dispozici ve formě integrovaných obvodů s označením ASIC. Tyto obvody přizpůsobené pro dané použití snímače se mohou nacházet buď jako zabudované ve snímači, nebo v řídicí jednotce. V mnoha případech, kdy je to vhodné, jsou funkce rozděleny mezi snímačem a řídicí jednotkou. Integrace obvodů do snímače má tu výhodu, že se snímač a zpracování signálu mohou vyvažovat a kompenzovat společně. Vytváří nedělitelnou jednotku velmi odolnou proti rušení, která se v případě výpadku jedné části vyměňuje jako celek.

Mnoho snímačů může pracovat pouze s těmito ASIC a nakonec pouze ve spojení s nimi jsou definovány jejich vlastnosti. [4]

5. Návrh a realizace

Smyslem konstrukce modulu pro vyhodnocování otáček je snaha vyvinout prostředek schopný snímat otáčky. Prioritou pro vývoj konečné podoby bylo vytvoření podmínek pro zachování určitého výsledku.

První realizovaná deska je vlastně převodník frekvence na napětí za pomoci integrovaného obvodu NE555. Zdrojem signálu pro měření otáček jsou kontakty přerušovače v automobilu. Signál je zpracován v integrovaném obvodu NE555 a dále přes RC obvod integrován. Výstupní napětí realizovaného převodníku se dá změřit pomocí digitálního multimetru. Toto napětí nám pak udává počet otáček za minutu. Druhá realizace je složitější, ale zase univerzálnější než předcházející. Jedná se modul pro vyhodnocování otáček přes sběrnici CAN. Obě varianty budou podrobněji popsány v této kapitole.

5.1. Modul vyhodnocování otáček pro induktivní snímač

Následující text souvisí s modulem pro vyhodnocování otáček, jehož schéma a navržené desky jsou součástí přílohy.

Zdrojem signálu pro měření otáček jsou kontakty přerušovače v automobilu. Je-li kontakt přerušovače rozepnut, bude na vstupu modulu vyhodnocování otáček kladný impuls a monostabilní multivibrátor (MKO) integrovaného obvodu IO1 se přes R_1 a T_1 spustí. Integrovaný obvod potom vyše pravoúhlý impuls s konstantní šířkou 3,9ms. Frekvence impulsů je dána taktem, v němž se kontakt přerušovače spíná a rozpíná. Pravoúhlý signál se pak integruje v RC obvodu. Výsledkem toho je, že náboj kondenzátoru C_5 je přímo úměrný frekvenci přerušovače (a tím také otáčkám motoru). Velkou výhodou tohoto principu je to, že je úplně jedno, jestli se testuje motor se čtyřmi nebo šesti válci, proto je obvod vhodný pro všechny typy motoru. Je dokonce možno použít i pro dieselové motory, pokud jsou vybaveny snímačem horní úvratě.

Na svorku s označením INPUT přivádíme měřený signál udávající počet otáček. Tento signál je veden přes odporový dělič R_1, R_2 , který udává napěťovou úroveň vstupního signálu, z děliče je signál veden dále ke kondenzátorům C_1, C_2 .

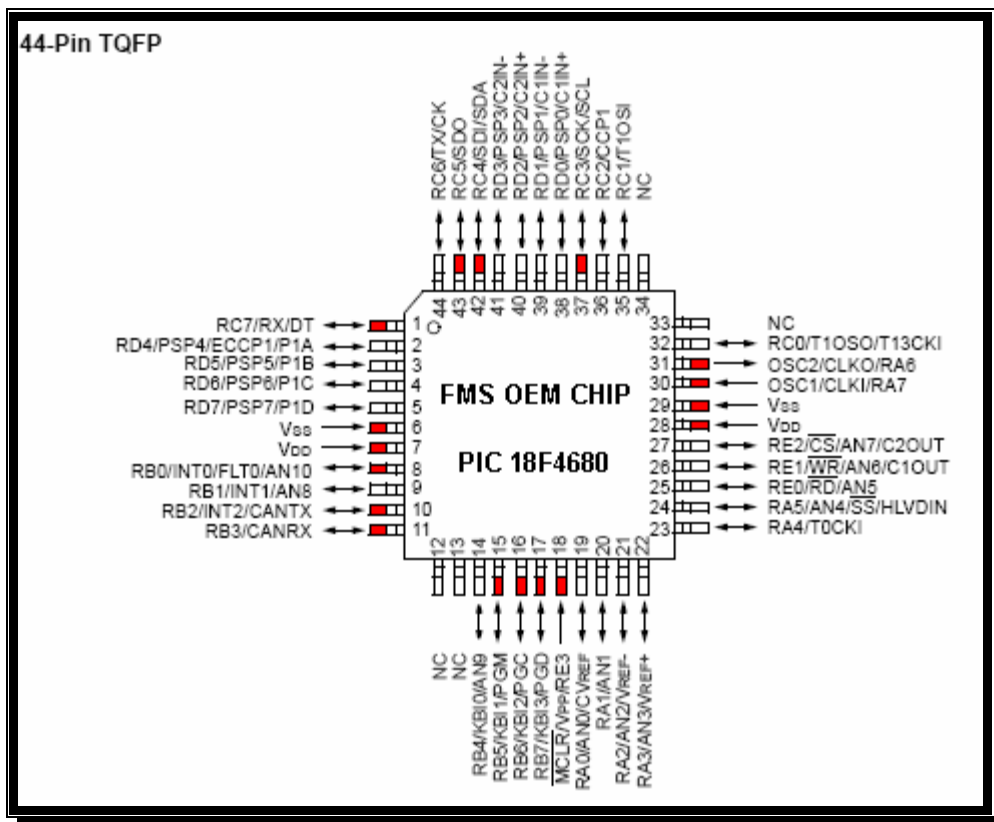
Kondenzátor C_1 posluhuje k zamezení vnikání vysokofrekvenčního rušení dále do obvodu, vysokofrekvenční rušení by deformovalo měřený signál. Kondenzátor C_2 slouží jako oddělovací, dioda D_1 slouží k ochraně tranzistoru a zamezuje induktivním špičkám přicházejících ze vstupu. Tranzistor T_1 spíná v závislosti na vstupní frekvenci, odtud je signál k monostabilnímu multivibrátoru (MKO) IO1. Multivibrátor vysílá impulsy o konstantní délce 3,9ms (pravoúhlý impuls úrovně H). Počet těchto impulsů je dán vstupní frekvencí signálu. Signál na výstupu (3) IO1 má pravoúhlý tvar, ten je dále integrován v integračním členu R_4, C_5 . Výsledkem je změna napětí na kondenzátoru C_5 úměrná frekvenci přerušovače. Trimr P_1 nám slouží k nastavení výstupu.

Otáčkoměr je napájen napětím 5V, které se přivádí na svorkovnici s označením $+U_{CC}$. Napájecí napětí musí být přesně stabilizované, protože určuje rozkmit pravoúhlého signálu na výstupu IO1 a tím i konstantu převodu otáčkoměru.

Pro seřízení tohoto otáčkoměru je zapotřebí signál s frekvencí 100Hz. To přibližně odpovídá 3000ot./min u čtyřválcového motoru. Přivedeme-li na svorkovnici s označením INPUT tento signál, tak by měl digitální multimetr ukazovat hodnotu 3000.

5.2. Modul vyhodnocování otáček přes CANbus

Základním členem tohoto modulu je přeprogramovaný mikrokontrolér PIC 18F4680 v pouzdře 44-pin TQFP, určený k integraci do systému. Chip provádí předzpracování dat z vozidlové sběrnice CAN. Současná verze firmware podporuje zpracování dat ze sběrnice CAN u vozidel, která využívají protokolu SAE J1939 a dále zpracování dat ze sběrnice CAN u části vozidel koncernu VW (včetně Škoda). Tato předzpracovaná data poskytuje do nadřazeného systému prostřednictvím rozhraní RS232.

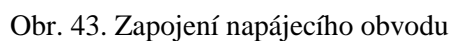


Obr. 42. Pouzdro 44-Pin TQFP

Obvod vyžaduje pro svojí činnost napájecí napětí 5V a zdroj hodinového kmitočtu 10MHz. Aby bylo možné provádět update firmware obvodu je modul vybaven programovacím konektorem.

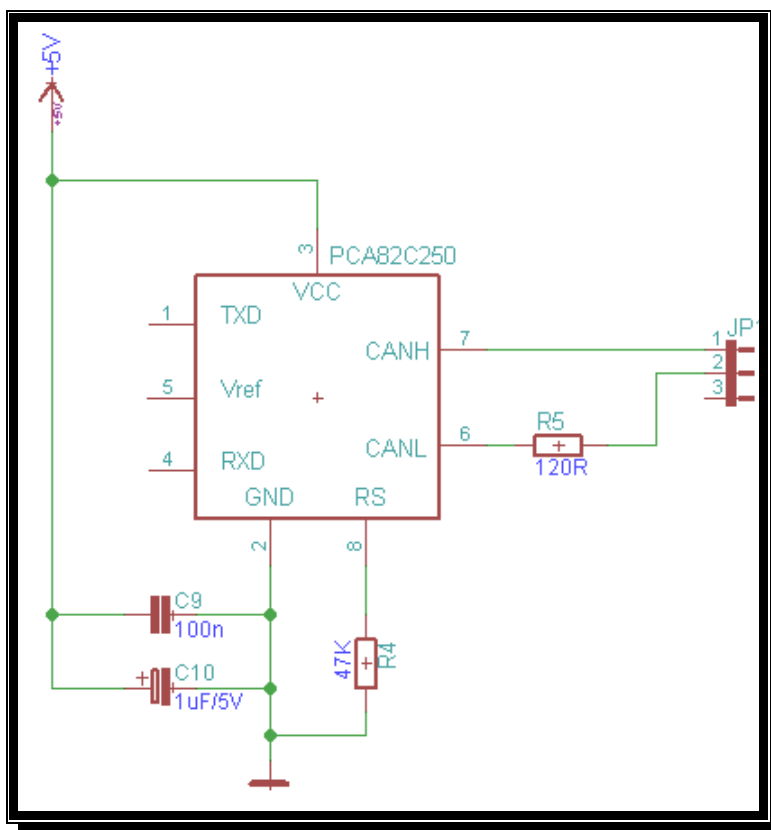
Při návrhu se také počítalo s volitelným zapnutím/vypnutím zakončovacího odporu CAN sběrnice o velikosti 120Ω. CAN sběrnice je obvykle zakončena na každé straně zakončovacím odporem 120Ω (mezi CAN H a CAN L se naměří odpor 60Ω).

Signál MCLR je vhodné zapojit jako externí reset obvodu z nadřazeného výstupu. Signál SDO je v době, kdy je CS neaktivní. K chipu je připojit dvě indikační LED. LED připojená k pinu RC0 indikuje činnost CANu. LED připojená k pinu RC1 pak indikuje činnost tachografu. Rozhraní CAN je po zapnutí aktivní, aktuální nastavení je uloženo v interní EEPROM.



Obr. 44. Zapojení komunikace přes sériovou linku

Pro komunikaci s počítačem slouží poloduplexní sériové rozhraní RS232 vycházející z obvyklého zapojení obvodu MAX232. MAX232 je šestnáctipinový obousměrný konvertor RS232/TTL logiky. Typické pro tento obvod jsou čtyři kondenzátory, které slouží jako nábojová pumpa. Pokud není nutné použít elektrolytické kondenzátory, které mají na používané frekvenci poměrně vysoký sériový odpor, doporučuje se použít místo nich tantalové kondenzátory nebo keramické s hmotou X7R. Sériový komunikační kanál slouží modelu pro vyhodnocování otáček k přejímání důležitých dat a odesílání uchovaných naměřených hodnot. Součástí obvodu jsou také dvě identifikační LED diody pro přejímání a odesílání dat.



Obr. 45. Zapojení budiče sběrnice CAN

Budič sběrnice CAN zajišťuje převod napěťových hladin používaných na CAN sběrnici na napěťové úrovně v rozsahu 0 – 5 V pro zpracování CAN kontrolérem.



Komunikace tohoto modulu probíhá následovně

Start

\$PCAN,C,VER,1.00,CANLABsro<enter>

*\$PCAN,C,VER,1.10,CANLABsro,*41*

Po startu zasílá zařízení na RS232 1x uvedenou informaci Text 0.50 identifikuje verzi firmware a v každé nové verzi je hodnota změněna.

Žádost o data zaslaná do CAN jednotky z nadřazeného systému

\$PCAN,C,GET,#SRT##<enter>

Je požadován údaj o rychlosti, otáčkách motoru a celkovém nájezdu kilometrů (znaky S, R a T).

Odpověď z CAN jednotky

\$PCAN,C,GET,S16R1313T398405<enter>

Jednotka vrací údaj o rychlosti (16km/h), otáčkách (1313 rpm/min) a stav tachometru (398405 km).

Alternativní odpověď z CAN jednotky

\$PCAN,C,GET,SXRXTX<enter>

Jednotka vrací údaj o tom, že data nejsou k dispozici. Pravděpodobnost neexistence těchto dat je nízká, proto u takovéto zprávy se dá předpokládat ze došlo k přerušení CANovského vedení k jednotce.

Závěr

Ve své práci jsem se věnoval podrobným popisem způsobů jak vyhodnotit otáčky u spalovacího motoru. Cílem mojí práce bylo realizovat modul pro vyhodnocování otáček. Pro zjištění funkčnosti jsem odměřil jednotlivé zapojení, které jsou podrobněji popsány v kapitole návrh a realizace. Při měření jsem si ověřil teoretické znalosti a zjistil jsem, že amplituda napětí opravdu stoupá společně s otáčkami. Jedná se tedy o nevýhodu, ke které se ještě přidává citlivost na výkyvy vzduchové mezery.

Velkou výhodou vyrobeného měřicího elektronického obvodu pro vyhodnocování otáček je, že je úplně jedno, jestli se testuje motor se čtyřmi nebo šesti válci, obvod je vhodný pro všechny typy motoru. Je dokonce možné ho použít i pro dieselové motory, pokud jsou vybaveny snímačem horní úvratě.

Nevýhodou měřeného elektronického obvodu pro vyhodnocování otáček je, že vyhodnocení otáček není příliš přesné. Jedná se spíše o informativní záležitost.

Druhým výrobkem je modul pro vyhodnocování otáček přes CANbus. Toto zařízení je podstatně složitější na výrobu, ale manipulace s ním je jednoduchá. Výhodou tohoto modulu je přesnost a spolehlivost. Je o mnoho více přesnější než předešle zmiňovaný elektronický obvod, ale i tak se najde drobná chyba a to taková, že není tak univerzální.

Základem většiny moderních jednotek jsou složité a důmyslné elektronické obvody, a proto je technicky i ekonomicky neúnosné, aby si je uživatelé navrhovali individuálně, často i bez potřebných znalostí a zkušeností.



Použitá literatura

- [1] Prof. Ing. Stanislav ĎAŘO, DrSc., doc. Ing. Marcel KREIDL, CSc.:Senzory a měřicí obvody. Praha, ČVUT 1996, ISBN 80-01-02057-6
- [2] Pavel RIPKA, Stanislav ĎAŘO, Marcel KREIDL, Jiří NOVÁK.:Senzory a převodníky.Praha,ČVUT 2005, ISBN 80-01-03123-3
- [3] doc. Ing. František HRUŠKA, Ph.D.:Technické prostředky automatizace III. Zlín, UTB – Academic centrum 2005, ISBN 80-7318-315-3
- [4] Dr. Ing. Erich ZABLER, Dipl. Ing. Joachim BERGER, Dipl. Ing. Andrea HERFORTH, Dr. Michael HARDER, Dipl. Ing. Herbert ARNOLD, Dr. rer. nat. Hermann WINNER, Dipl. Ing. Jürgen TÖPFER, Dipl. Ing. Rüdiger GIESSEL, Dr. rer. nat. Volkmar DENNER.:Snímače v motorových vozidlech Bosch. Praha, Robert Bosch odbytová s.r.o. Automobilová technika 2003, ISBN 80-903132-5-6
- [5] Bohumil FERENC, .:Spalovací motory 3.vydání. Brno, Computer Press 2009, ISBN 978-80-251-2545-8
- [6] Prof. Ing. Vladimír CHUDÝ, CSc., doc. Ing. Rudolf PALENČÁR, CSc., Ing. Eva KUREKOVÁ, CSc., Ing. Martin HALAJ, .:Meranie technických veličín. Bratislava, STU 1999, ISBN 80-227-1275-2



Seznam příloh

Příloha č.1 – Schéma zapojení otáčkoměru pro induktivní snímač

Příloha č.2 – Schéma plošného spoje otáčkoměru pro induktivní snímač

Příloha č.3 – Schéma zapojení otáčkoměru pro vyhodnocení otáček z CANbus

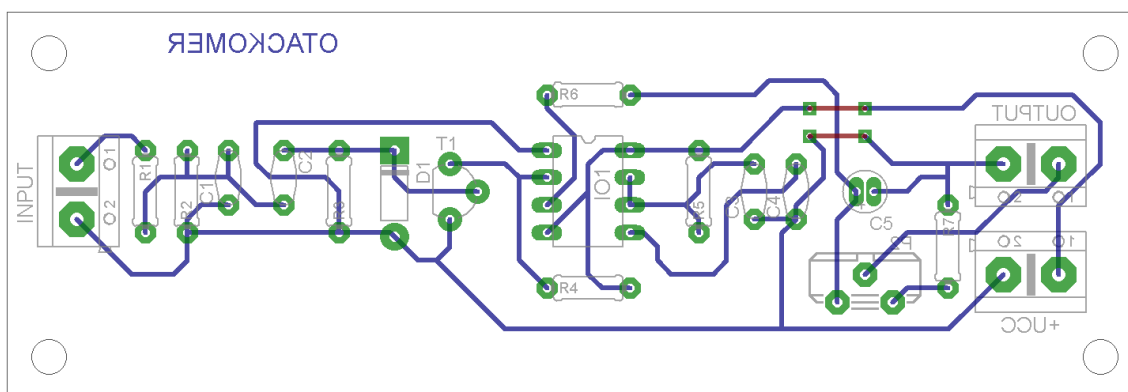
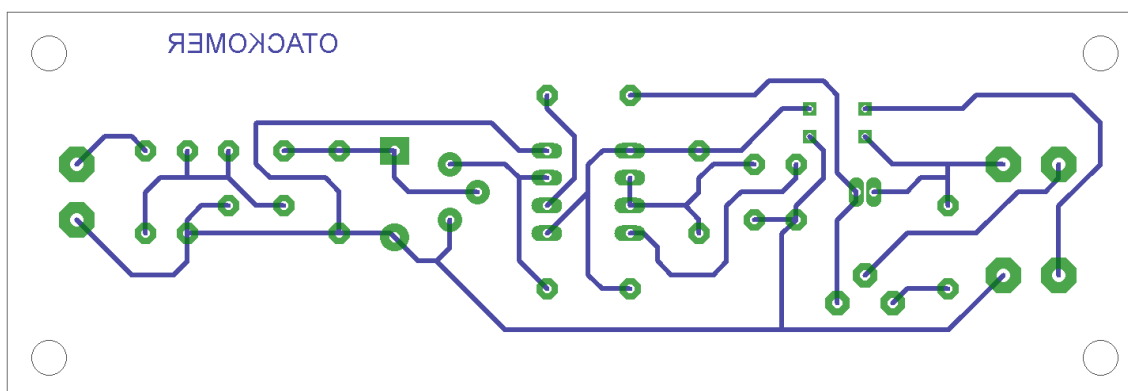
Příloha č.4 – Schéma plošného spoje otáčkoměru pro vyhodnocení otáček z CANbus

Příloha č.5 – Fotky realizovaných otáčkoměrů

Příloha č.6 – Popis vybraných snímačů otáček

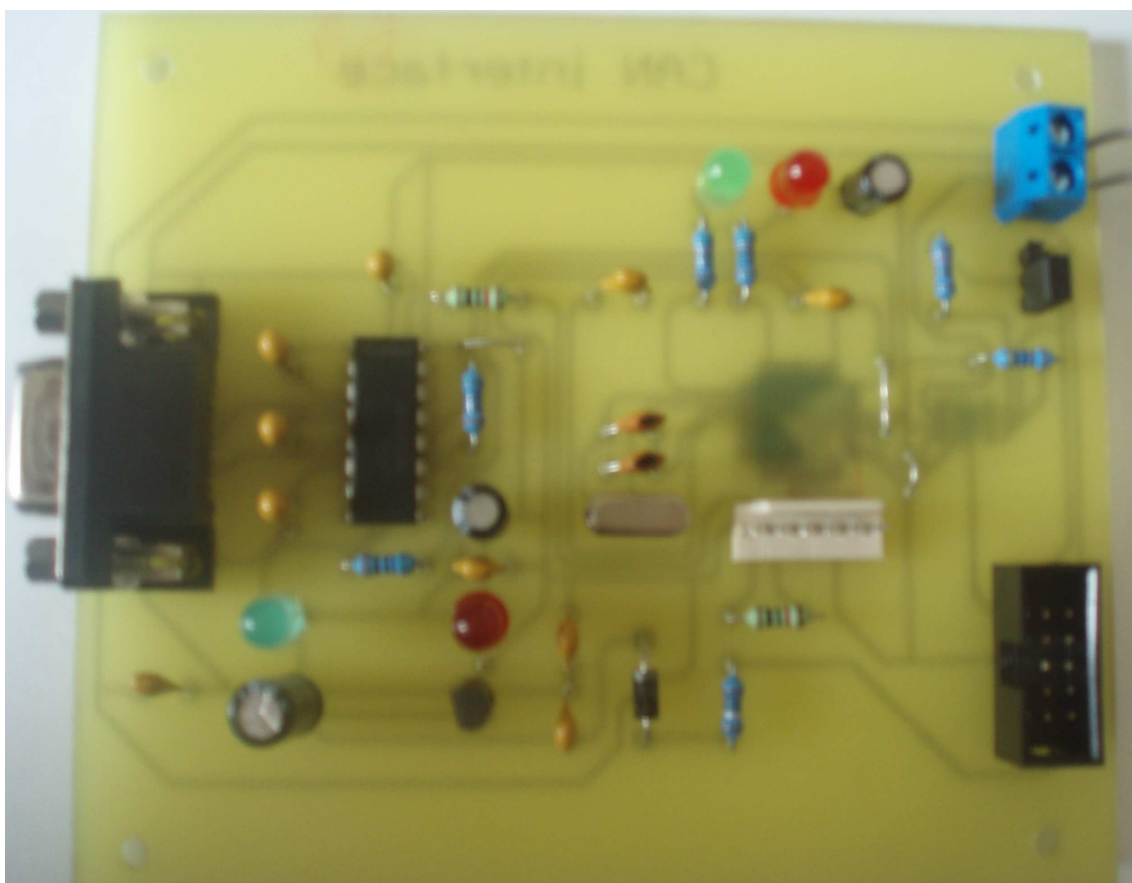
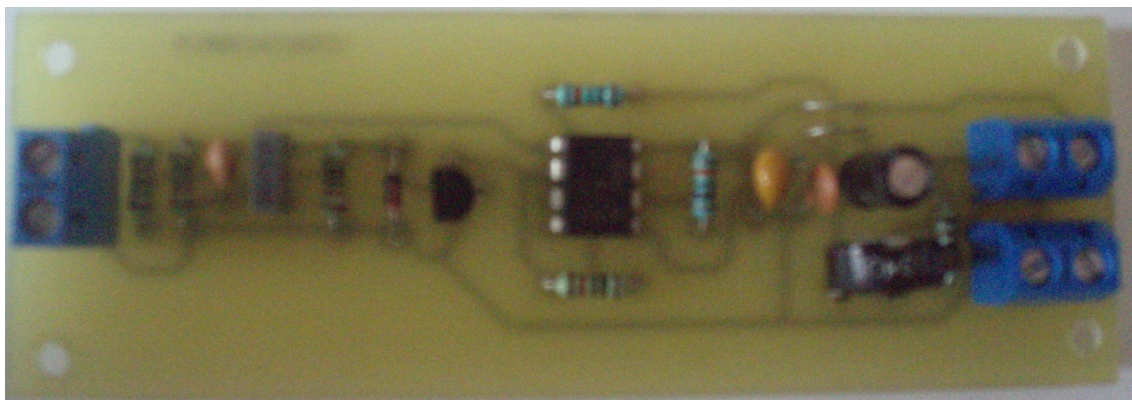
Příloha č.7 – Protokol

Příloha č.2 : Schéma plošného spoje otáčkoměru pro induktivní snímač



- 64 -

Příloha č.5 – Fotky realizovaných otáčkoměrů



Příloha č.6 – Popis vybraných snímačů otáček



SHD51.1/Hallův snímač

Snímač je určen pro snímání otáček a polohy feromagnetického rotujícího kola. Je vhodný ke snímání otáček klikového hřídele s vysokou přesností úhlového natočení.



SHD51.2/Hallův snímač

Snímač je určen pro snímání otáček, polohy a směru otáčení feromagnetického rotujícího kola. Je vhodný ke snímání otáček klikového hřídele s vysokou přesností úhlového natočení.



S33/Hallův snímač

Snímač s Hallovým čidlem je určen pro bezkontaktní snímání otáček nebo polohy rotujícího feromagnetického kotouče nebo značky z magneticky měkkého materiálu. Jedná se o snímač induktivní, vhodný pro snímání otáček klikového hřídele.



S37/Induktivní snímač

Snímač je určen pro bezkontaktní snímání otáček nebo polohy rotujícího feromagnetického kotouče nebo značky z magneticky měkkého materiálu. Jedná se o snímač induktivní, vhodný pro snímání otáček klikového a vačkového hřídele.



SI44K/Induktivní snímač

Tento snímač je určen pro snímání otáček a polohy rotujícího snímacího feromagnetického kola. Jedná se o induktivní snímač. Je používán pro snímání otáček klikového i vačkového hřídele s vysokou přesností parametru fázového zpoždění. Vyrábí se ve dvou variantách, které se liší délkou snímače.



S11S/Induktivní snímač

Snímač je určen pro bezkontaktní snímání otáček nebo polohy rotujícího feromagnetického kotouče nebo značky z magneticky měkkého materiálu.

Jedná se o induktivní snímač. Je vhodný ke snímání otáček převodovky nebo klikového hřídele. Vyrábí se ve dvou variantách, které se liší délkou snímače.

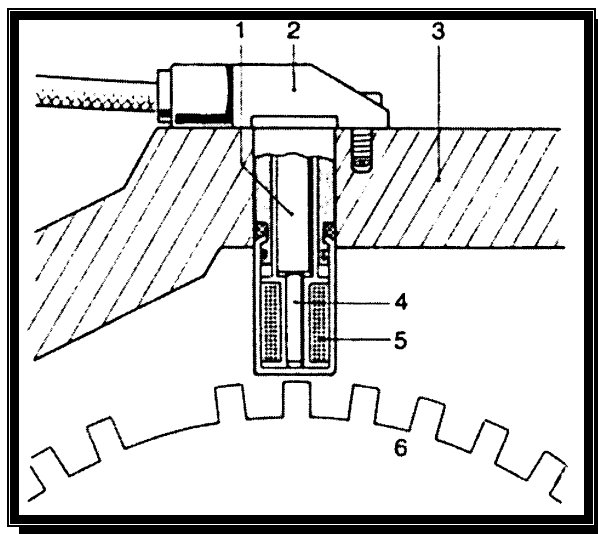
Příloha č.7 – Protokol

VŠB-TU Ostrava	Automobilová elektronika		Fakulta elektrotechniky a informatiky
Datum měření:	1.	Vyhodnocení otáček induktivního snímače	Jména, studijní skupiny:
Datum odevzdání/hodnocení:			

1. Vyhodnocení statických a dynamických parametrů induktivního snímače otáček. Změřte závislost amplitudy výstupního signálu snímače v závislosti na otáčkách motoru osobního vozidla (typ vozidla bude specifikována vyučujícím).
2. Změřte závislost výstupního napětí modulu vyhodnocení otáček na otáčkách motoru osobního vozidla.
3. Vyjádřete se k výhodám a nevýhodám induktivního snímače otáček a dále k výhodám a nevýhodám měřeného elektronického obvodu pro vyhodnocování otáček.

Výklad:

Snímač tvoří feromagnetický ozubený kotouč umístěný na klikovém hřídeli. Na ozubeném kotouči je místo pro 60 zubů (6 na obr. 1), avšak dva zuby jsou vynechány. Platí pro systém Motronic firmy Bosch. Vynecháním dvou zubů je označeno místo, nazývané se vztažná značka. Značka označuje polohu klikové hřídele odpovídající např. horní úvrati (HÚ) prvního válce. Induktivní snímač snímá posloupnost těchto 58 zubů. Když se jedná o induktivní snímač, je využito magnetického toku. Zdrojem magnetického toku je permanentní magnet (1 na obr. 1) s měděnou cívkou (2 na obr. 1) navinutou na tyčovém jádru z měkké oceli (pólový nástavec - 4 na obr. 1). Kryt snímače (2 na obr. 1) je pevně připojeno k bloku motoru (3 na obr. 1). Vodiče v kabelu vedou k řídicí jednotce, která podle přijatých informací vypočítá rychlost otáčení a řídí regulaci. Na obr. 1 je schématické zobrazení snímače.

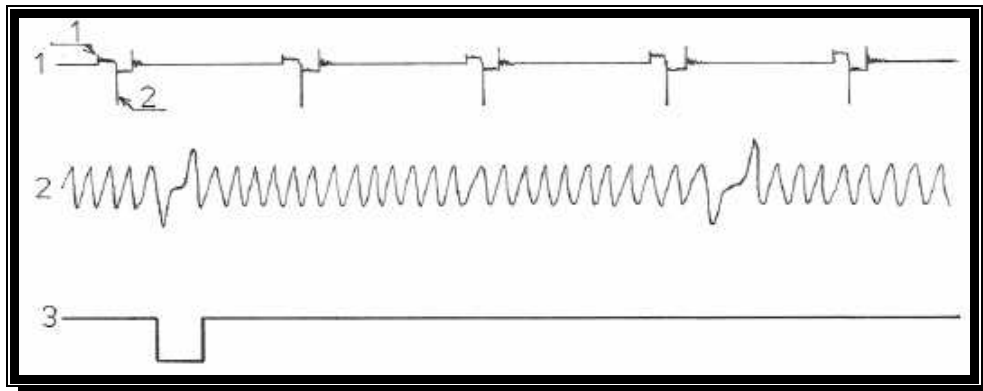


Obr. 1. Schématické zobrazení snímače

- | | |
|--------------------------|---------------------|
| 1 – Permanentní magnet | 4 – Pólový nástavec |
| 2 – Kryt snímače | 5 – Vinutí snímače |
| 3 – Kliková skříň motoru | 6 – Ozubené kolo |

Při otáčení kotouče procházejí střídavě zuby s malou vzduchovou mezerou blízko snímače. Střídáním zubů a mezer mezi zuby v magnetickém obvodu se ve snímači indukuje střídavé napětí vlivem měnícího se magnetického toku. Napětí je indukováno v cívce. Amplituda napětí se zmenšuje s rostoucí vzdáleností mezi snímačem a ozubeným kotoučem a roste se stoupajícími otáčkami. Dostačující amplituda napětí je k dispozici už při 20 otáčkách za minutu. Řídící jednotka upravuje průběh napětí s různými amplitudami na napětí o konstantní amplitudě (viz. obr. 2). Napětí má obdélníkový průběh.

Průběh 1 je sekundárním napětí zapalovací cívky (1 - sepnutí, 2 - rozepnutí - zážeh). Průběh 2 je průběh signálu, který je výstupem snímače otáček na klikové hřídeli. Průběh 3 je signál z Hallova snímače na vačkové hřídeli.



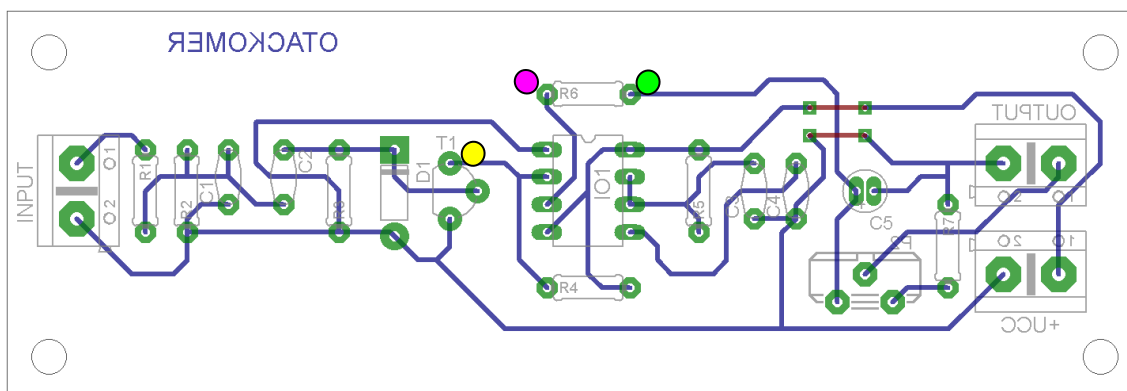
Obr. 2.

- 1 - Signál sekundárního napětí zapalovací cívky
- 2 - Průběh signálu ze snímače otáček na klikovém hřídeli
- 3 - Signál z Hallova snímače na vačkovém hřídeli

Přesná poloha HÚ prvního válce je určena tak, že je odstup hran průběhu napětí více jak dvakrát větší než předcházející vzdálenosti hran napětí. Vzdálenost hran napětí je dána vynecháním dvou zubů. V okamžiku, kdy je zjištěna dvojnásobná vzdálenost mezi hranami napětí, provede řídicí elektronika synchronizaci polohy klikového hřídele se svými hodnotami. S každou následující náběžnou nebo sestupnou hranou počítá řídicí jednotka s natočením o další úhel. Velikost úhlu je závislá na počtu zubů ozubeného kotouče. Pro 60 zubů je to úhel 3° .

Postup měření:

- 1) Přiveďte napájecí napětí na patřičné svorky
- 2) Připojte sondy dle níže uvedeného obrázku
- 3) Zapněte zapalování a můžete začít měřit
- 4) Postupně si vyzkoušejte zaznamenat průběhy pro různé otáčky



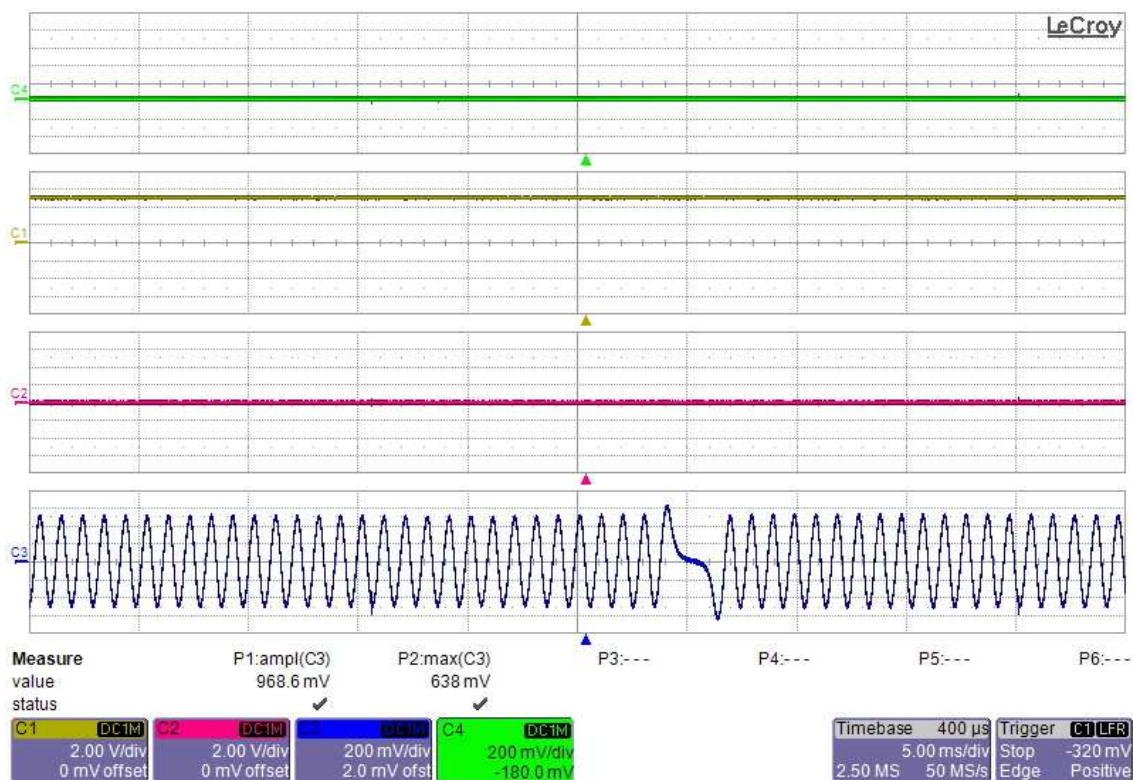
Na obrázku jsou vyznačeny body, které náležejí jednotlivým naměřeným průběhům

1. Úkolem bylo vyhodnotit statický parametr induktivního snímače. Statický parametr je vlastně vnitřní odpor snímače.

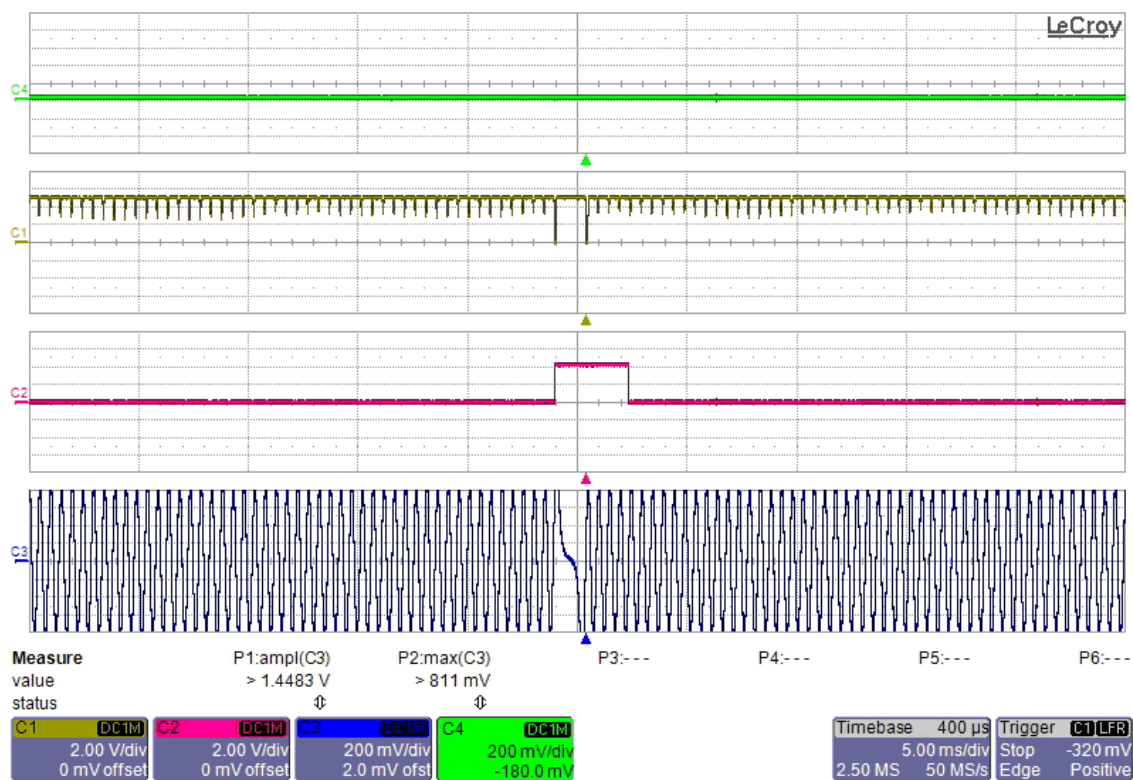


Přímo uprostřed snímku je zachycený induktivní snímač, na kterém se měří již zmiňovaný statický parametr tedy vnitřní odpor. Při našem měření jsme naměřili hodnotu $R = 1k\Omega$.

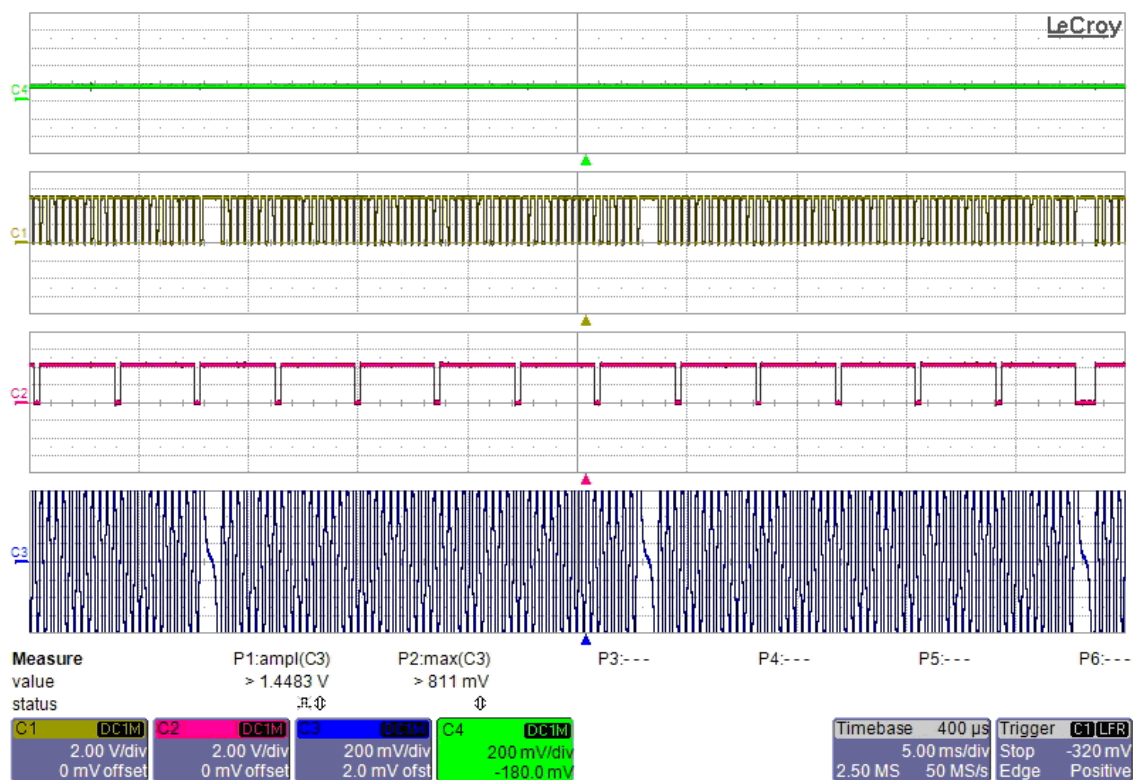
Dynamické parametry jsou znázorněny na následujících grafech.



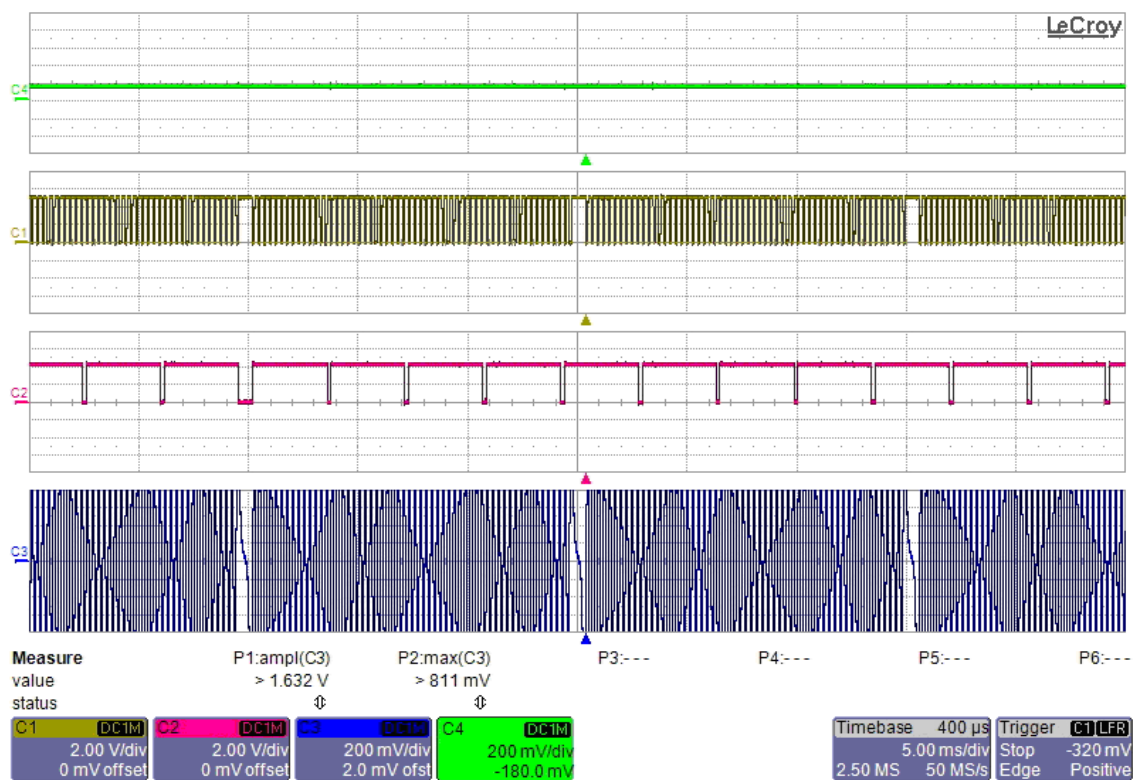
Na obrázku můžete vidět naměřené průběhy, při 1000 ot./min



Na obrázku můžete vidět naměřené průběhy, při 2000 ot./min



Na obrázku můžete vidět naměřené průběhy, při 3000 ot./min

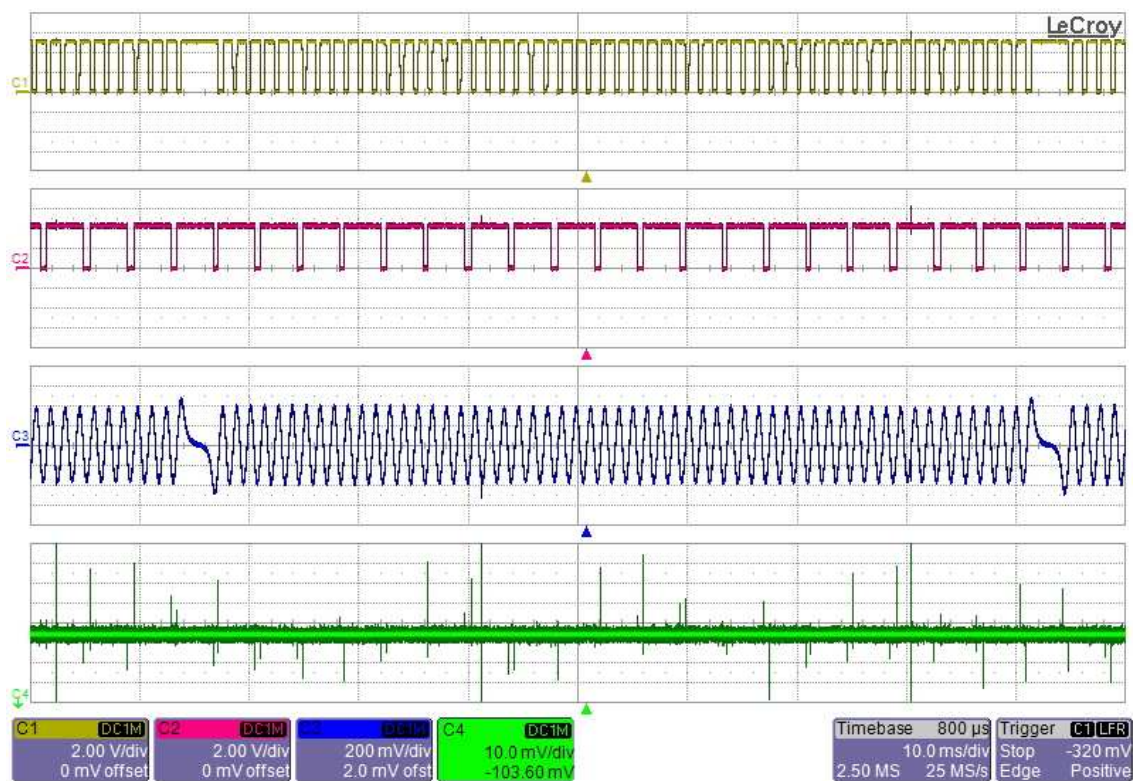


Na obrázku můžete vidět naměřené průběhy, při 4000 ot./min.



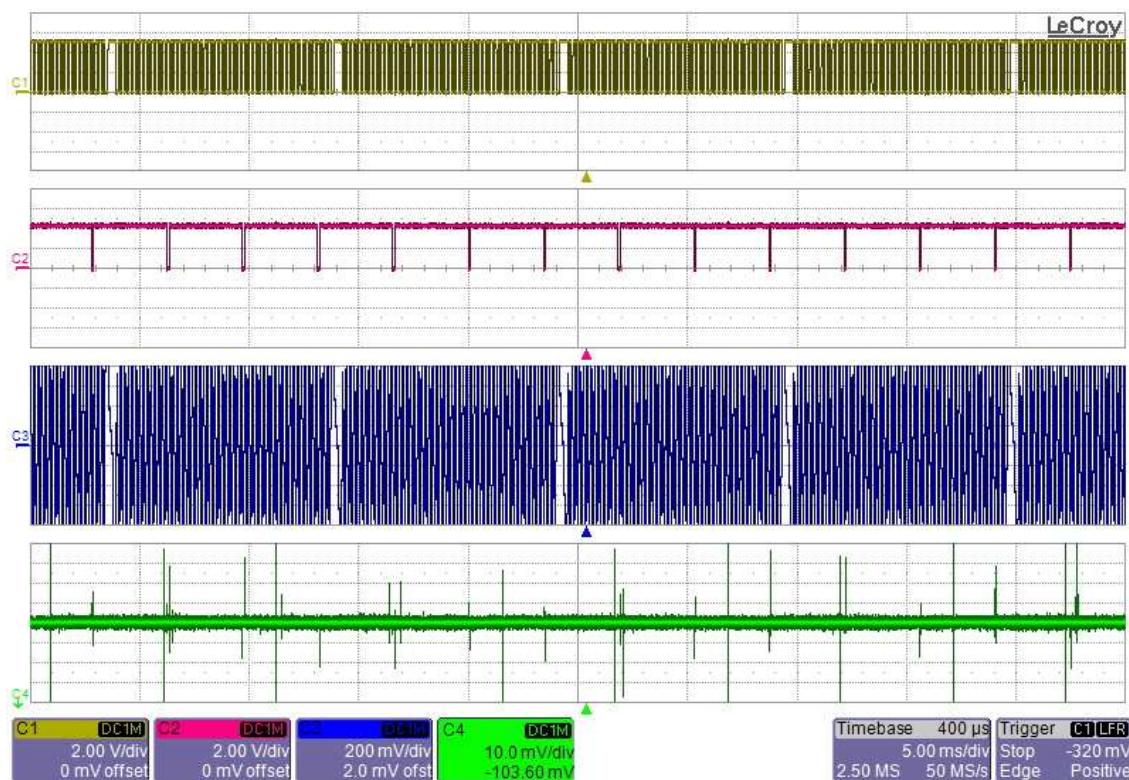
Z naměřených průběhů můžeme vyčíst, že se potvrdily teoretické předpoklady a skutečně amplituda napětí roste se stoupajícími otáčkami. Při 1000 ot./min. byla amplituda 968,6 mV a postupně se zvýšila až na 1,632 V při 5000 ot./min.

2. Úkolem bylo změřit závislost výstupního napětí na otáčkách. Závislost výstupního napětí na otáčkách nám znázorňuje zelený průběh.



Na obrázku můžete vidět naměřené průběhy, při volnoběhu

Modrý signál nám znázorňuje průběh induktivního snímače. Tento signál se změnil pomocí diferenciální sondy. V grafu je přehledně vidět kdy proběhla úhlová změna 360° tedy otáčka.



Na obrázku můžete vidět naměřené průběhy, při vyšších otáčkách

3. Výhodou induktivních snímačů jsou nízké výrobní náklady, odolnost proti rušení, žádná elektronika ve snímači, žádné problémy s driftem stejnosměrného napětí a velký teplotní rozsah. Nevýhodou je závislost výstupního napětí na otáčkách a citlivost na výkyvy vzduchové mezery.

Velkou výhodou měřeného elektronického obvodu pro vyhodnocování otáček je, že je úplně jedno, jestli se testuje motor se čtyřmi nebo šesti válci, proto je obvod vhodný pro všechny typy motoru. Je dokonce možno použít i pro dieselové motory, pokud jsou vybaveny snímačem horní úvratě.

Nevýhodou měřeného elektronického obvodu pro vyhodnocování otáček je, že vyhodnocení otáček není příliš přesné. Jedná se spíše o informativní záležitost.